

Radek Haltof

Návrh topného systému fotobioreaktoru pomocí odpadního tepla z bioplynové stanice

Concept of a Photobioreactor Heating System Using Waste Heat from a Biogas Station

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

Ing. Jaroslav Frantík, Ph.D.

Ostrava 2021

Bibliografický záznam

Autor: Radek Haltof, HAL0168

Název práce: Návrh topného systému fotobioreaktoru pomocí odpadního tepla z bioplynové stanice

Studijní program: B2341 Strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Frantík, Ph.D.

Akademický rok: 2020/2021

Počet stran: 71

Klíčová slova: topný systém; fotobioreaktor; bioplynová stanice; tepelný výměník

Zadání bakalářské práce

Student: **Radek Haltof**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení
Téma: **Návrh topného systému fotobioreaktoru pomocí odpadního tepla z bioplynové stanice.**
Concept of a Photobioreactor Heating System Using Waste Heat from a Biogas Station.

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Přehled stávajícího stavu poznání.
2. Typy bioplynových stanic
3. Přehled výrobců kogeneračních jednotek
4. Možnosti využití odpadního tepla.
5. Návrh topného systému fotobioreaktoru pomocí odpadního tepla z bioplynové stanice.
6. Výpočet výměníku pro využití odpadního tepla.

Seznam doporučené odborné literatury:

KADLEC, Zdeněk. Termomechanika: návody do cvičení. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. ISBN 8070789123.

PAVELEK, M. Termomechanika. Vyd. 3., přeprac. /. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 284 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2409-5.

BRANDEJSOVÁ, Eliška a Zdeněk PŘIBYLA. Bioplynové stanice: (zásady zřizování a provozu plynového hospodářství). 2., aktualiz. vyd. Praha: GAS, 2010. ISBN 978-80-7328-228-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Frantík, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2020

Datum odevzdání: 17.05.2021

doc. Ing. Stanislav Honus, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Interní podklady Zemědělského družstva Haňovice jsou v této práci uvedeny na základě písemného souhlasu se zveřejněním.

V Ostravě dne 17. května 2021

.....
podpis studenta

Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Spolupracující firma:

Zemědělské družstvo Haňovice

Haňovice 18

783 21

Chudobín

Jméno a příjmení oprávněné osoby: Ing. Petr Koukal, předseda představenstva

V Haňovicích dne 07.04.2021

.....
Podpis oprávněné osoby
(razítko)

Zemědělské družstvo
Haňovice -4-
Haňovice 18, 783 21 Chudobín

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, же podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17. května 2021

.....
podpis

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HALTOF, Radek. *Návrh topného systému fotobioreaktoru pomocí odpadního tepla z bioplynové stanice*: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2021, 71 s. Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Frantík, PhD.

Bakalářská práce se zabývá návrhem topného systému fotobioreaktoru, který využívá přebytek tepelné energie z bioplynové stanice. V teoretické části jsou představeny jednotlivé typy kultivačních systémů, proces výroby elektrické a tepelné energie v bioplynové stanici a tepelné výměníky. Praktická část obsahuje popis Zemědělského družstva Haňovice a technologií v bioplynové stanici, návrh topného systému a výpočet tepelného výměníku pro přenos tepelné energie do kultivačního systému. Součástí bakalářské práce je technická dokumentace návrhu fotobioreaktoru a vypočteného tepelného výměníku.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HALTOF, Radek. *Concept of a Photobioreactor Heating System Using Waste Heat from a Biogas Station*: Bachelor Thesis. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2021, 71 p. Thesis head: Ing. Jaroslav Frantík, PhD.

The bachelor thesis deals with the design of a photobioreactor heating system, which uses an excess of thermal energy from the biogas plant. There are introduced individual parts of cultivation systems, the production of electrical and thermal energy in a biogas plant and heat exchangers in the theoretical part. The practical part contains a description of the Agricultural Cooperative Haňovice and technologies in a biogas plant, the design of the heating system and the calculation of the heat exchanger for heat transfer to the cultivation system. The bachelor thesis also contains technical documentation of the design of the photobioreactor and the calculated heat exchanger.

OBSAH

Seznam použitých veličin	10
Seznam použitých zkratk.....	12
Seznam použitých chemických značek.....	13
1 Úvod	14
1.1 Stanovené cíle práce	14
1.2 Rešerše stávajícího stavu.....	14
2 Fotobioreaktor.....	15
2.1 Kultivace řas ve fotobioreaktoru	15
2.2 Otevřené kultivační systémy	16
2.3 Uzavřené kultivační systémy	17
2.4 Výhody a nevýhody kultivačních systémů.....	19
3 Bioplynová stanice.....	20
3.1 Technologické celky bioplynové stanice	20
4 Bioplyn.....	22
4.1 Složení a vlastnosti bioplynu	22
4.2 Anaerobní fermentace	23
4.3 Úprava a skladování bioplynu	24
5 Kogenerace.....	25
5.1 Kogenerační technologie	26
5.1.1 Rozdělení kogeneračních technologií.....	27
5.2 Kogenerační zdroje se spalovacími motory pro využití bioplynu	27
5.3 Přehled výrobců kogeneračních jednotek.....	29
5.4 Uplatnění kogenerace	29
5.4.1 Využití odpadního tepla.....	30
5.5 Výhody a nevýhody kogenerace.....	30
6 Tepelné výměníky.....	31
6.1 Přenos tepla.....	31
6.2 Rozdělení tepelných výměníků.....	32
6.3 Požadavky na tepelné výměníky	34
7 Zemědělské družstvo Haňovice.....	36
7.1 Bioplynová stanice Haňovice.....	38

7.1.1	Technologie BPS Haňovice	38
7.1.2	Využití tepelné energie v BPS Haňovice	43
8	Návrh topného systému fotobioreaktoru	46
8.1	Hlavní části topného systému	48
8.2	Armatury topného systému	52
8.3	Měřicí zařízení topného systému	55
9	Výpočet výměníku pro využití odpadního tepla.....	56
9.1	Vynucená konvekce při proudění v trubkách.....	57
9.2	Vynucená konvekce při proudění kolmo na svazek trubek.....	59
9.3	Tepelný tok při přenosu tepla ze svazku trubek.....	61
10	Závěr.....	64
11	Seznam použité literatury	66
12	Seznam obrázků a tabulek.....	69
12.1	Seznam obrázků.....	69
12.2	Seznam tabulek	70
13	Seznam příloh	71

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Značka	Jednotka	Popis
a	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	Měrná teplotní vodivost proudícího média
c	$[-]$	Konstanta, jenž závisí na uspořádáním trubek
d	$[m]$	Vnitřní průměr válcové stěny/trubky
D	$[m]$	Vnější průměr trubek
E	$[W \cdot m^{-2}]$	Intenzita vyzařování
$grad\ t$	$[K \cdot m^{-1}]$	Teplotní gradient
i	$[-]$	Pořadí vrstvy válcové stěny
k	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Součinitel prostupu tepla
L	$[m]$	Charakteristický rozměr
L_T	$[m]$	Délka trubek
n	$[-]$	Exponent, jenž závisí na uspořádáním trubek
Nu	$[-]$	Nusseltovo číslo
$p_{h,dov}$	$[bar]$	Maximální provozní tlak v soustavě
$p_{h,min}$	$[bar]$	Minimální provozní tlak v soustavě
P_{DV}	$[kW]$	Výkon deskového výměníku
P_{KGJ}	$[kW]$	Tepelný výkon kogenerační jednotky
Pr	$[-]$	Prandtlovo číslo
q	$[W \cdot m^{-2}]$	Hustota tepelného toku
Q	$[W]$	Tepelný tok
Q_1	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	Objemový průtok ohřívacího média
Q_i	$[MJ \cdot m^{-3}]$	Výhřevnost
$Q_{t;s}$	$[kWh]$	Skutečné roční množství vyprodukované tepelné energie
$Q_{t;t}$	$[kWh]$	Teoretické roční množství vyprodukované tepelné energie
$Q_{t;\tau}$	$[kWh]$	Skutečné měsíční množství vyprodukované tepelné energie
$Q_{v;\tau}$	$[kWh]$	Měsíční spotřeba tepelné energie pro návrh TS
r	$[m]$	Vnitřní poloměr trubek
R	$[m]$	Vnější poloměr trubek
Re	$[-]$	Reynoldsovo číslo

\check{r}	$[-]$	Počet řad ve svazku trubek
S	$[m^2]$	Teplosměnný povrch
S_1	$[m]$	Rozteč trubek kolmo na směr proudění
S_2	$[m]$	Rozteč trubek ve směru proudění
S_{TR}	$[m^2]$	Vnitřní průřez trubky
t	$[K]$	Určovací teplota proudícího média
t'	$[^{\circ}C]$	Teplota pracovního média na vstupu
t''	$[^{\circ}C]$	Teplota pracovního média na výstupu
t_{VS}	$[^{\circ}C]$	Teplota vnější stěny trubky
T	$[K]$	Teplota povrchu tělesa (absolutní)
v	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost proudění pracovního média
V	$[l]$	Objem topného okruhu
V_e	$[l]$	Objem expanzní nádoby
x	$[-]$	Počet vrstev válcové stěny
z	$[-]$	Počet kogeneračních jednotek
α	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla
$\alpha_{stř}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Střední součinitel přestupu tepla konvekcí pro celý svazek
Δt	$[K]$	Rozdíl teploty tekutiny a stěny
ΔV	$[-]$	Poměrné zvětšení objemu vody z 10 °C na max. teplotu
ε	$[-]$	Experimentálně určený emisní součinitel
ε_i	$[-]$	Součinitel, zohledňující změnu α u prvních řad svazku trubek
ε_L	$[-]$	Opravný součinitel pro krátké trubky
ε_R	$[-]$	Opravný součinitel pro oblouky
ε_S	$[-]$	Součinitel, zohledňující vliv roztečí trubek
ε_t	$[-]$	Opravný součinitel neizotermického proudění
η	$[-]$	Procentuální využití chodu motorů KGJ
λ	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti
ν	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	Kinematická viskozita proudícího média
τ	$[h]$	Počet hodin ve stanoveném časovém intervalu

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Název
BPS	Bioplynová stanice
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
ČOV	Čistička odpadních vod
DN	Jmenovitá světlost (vnitřní průměr) potrubí
EEI	Index energetické účinnosti
ELTO	Extra lehký topný olej
EPDM	Etylen-propylen-dienový kaučuk
EPP	Expandovaný polypropylen
FBR	Fotobioreaktor
CHKO	Chráněná krajinná oblast
JZD	Jednotné zemědělské družstvo
KGJ	Kogenerační jednotka
KVET	Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla
LTO	Lehký topný olej
MEŘO	Metylester řepkového oleje
NBR	Nitril-Butadien kaučuk
ORC	Organický Rankinův cyklus
PEZ	Primární energetické zdroje
PN	Jmenovitý tlak potrubí
TS	Topný systém
ZD	Zemědělské družstvo
ZDHa	Zemědělské družstvo Haňovice

SEZNAM POUŽITÝCH CHEMICKÝCH ZNAČEK

Značka	Název
C	Uhlík
CH ₃ COOH	Kyselina octová
CH ₄	Metan
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
H ₂	Vodík
H ₂ O	Voda
H ₂ S	Sulfan
N	Dusík
NO _x	Oxidy dusíku
O ₂	Kyslík
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid

1 ÚVOD

Zpracováním biomasy, jako jednoho z obnovitelných zdrojů energie, lze získat v bioplynových stanicích (dále jen BPS) bioplyn, který je následně využíván jako palivo v kogeneračních jednotkách. Výsledným produktem je potom elektrická a tepelná energie, která je hlavním předmětem této bakalářské práce. Vzhledem k jejímu přebytku je potřeba navrhnout způsob pro její spotřebu a tím také zvýšení efektivity celého procesu, který v bioplynové stanici probíhá.

Jednou z možností je kultivace řas. V uzavřených fotobioreaktorech by zde mohl probíhat řízený proces kultivace především pro experimentální účely, což by znamenalo do budoucna například produkci jedné ze vstupních surovin do fermentačního procesu. Pro zajištění konstantní teploty kultivačního média je potřeba navrhnout topný systém fotobioreaktoru, který by využíval tepelnou energii z BPS.

1.1 Stanovené cíle práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je navrhnout topný systém fotobioreaktoru s využitím přebytku tepelné energie z BPS. Před vypracováním návrhu je nezbytné seznámení s podmínkami kultivačního procesu, činností bioplynové stanice a využitím tepelné energie. Bakalářskou práci lze rozdělit do těchto kroků:

- představení jednotlivých typů kultivačních zařízení;
- popis technologií v bioplynové stanici;
- seznámení se Zemědělským družstvem Haňovice;
- výpočet přebytku vyprodukované tepelné energie;
- zpracování návrhu topného systému fotobioreaktoru;
- výpočet tepelného výměníku pro využití odpadního tepla.

1.2 Rešerše stávajícího stavu

Nedostatečná spotřeba tepelné energie v bioplynových stanicích je poměrně častým problémem. Velké množství těchto zařízení využívá tepelnou energii pouze pro své účely. Přebytky vznikají především v letních a podzimních měsících z důvodu poklesu spotřeby tepla při vyšších venkovních teplotách. Průměrná roční spotřeba tepelné energie bioplynové stanice v Haňovicích, jejíž data jsou využita při řešení této bakalářské práce, je přibližně 80 % z celkové produkce. Právě pro zvýšení této hodnoty se nabízí jako jedna z možností kultivace řas ve fotobioreaktorech.

Řízený kultivační proces produkce řas se začal rozvíjet již v druhé polovině 20. století. Primárním úkolem byla snaha o zprostředkování jednoho ze zdrojů bílkovin, který by bylo možno využít v případě potravinové krize. Po řadě úprav, například zahuštění, promytí nebo sušení, lze řasy využít jako biomasu třetí generace v zemědělském, chemickém či farmaceutickém průmyslu. Nejběžnějšími zástupci k produkci biomasy jsou v současnosti *Chlorella*, *Spirulina* nebo *Dunaliella Salina*. Pro velkoobjemovou produkci jsou využívány především otevřené kultivační nádrže v oblastech s vyšší celoroční teplotou jako je Mexiko, Thajsko nebo Jihoafrická republika.

2 FOTOBIOREAKTOR

Proces řízené kultivace řas probíhá ve vodním prostředí, obecně nazývaném jako fotobioreaktor (dále jen FBR). Jedná se o systém složený z média, plynné fáze a řasy. Kultivační prostředí se dělí na tři skupiny: otevřené, uzavřené a hybridní, přičemž poslední jmenovaná varianta je kombinací otevřených a uzavřených systémů. Daleko používanější pojmenování FBR je však pouze pro uzavřené systémy, jelikož jej lze přesněji formulovat jako systém, ve kterém více než 90 % podíl světla musí projít přes průhledné stěny a nenaráží tak přímo na hladinu kultury. [1, 14]

2.1 Kultivace řas ve fotobioreaktoru

Kultivace řas je založena na procesu fotosyntézy, a proto je nejdůležitějším faktorem pro jejich tvorbu vytvoření kvalitního prostředí. Tím je myšleno dostatečné osvětlení, udržení konstantní teploty, správná hodnota vodíkového exponentu pH či regulace množství O_2 , CO_2 a ostatních živin. [11, 13]

Nejpodstatnější substrát neboli světlo je potřeba správně regulovat, jelikož velké množství není zcela příznivé pro některé druhy produkovaných organismů. Průměrná kultivační teplota je mezi 25 – 35 °C. Všechny parametry jsou v závislosti na použitém systému a druhu produkované řasy. Aby nedocházelo k usazování nečistot ve spodní části FBR, je nutné pravidelné promíchávání média. [1, 13]

Příprava startovní kultury je prováděna v laboratořích, ve skleněných láhvích nebo válcích o objemu 0,5 – 10 litrů. Zde za umělého osvětlení dochází k získání startovní kultury, která je v řádu několika týdnů přenesena na venkovní velkoplošné systémy či uzavřené fotobioreaktory. [13]



Obrázek 2.1 – Laboratorní kultivace mikrořas [13]

Existují dva režimy kultivace. Prvním typem je vsádkový režim, kdy nastává nasazení a sklizeň kultury v jednom okamžiku. Druhý typ se označuje jako kontinuální. Tento režim je charakteristický tím, že dochází k průběžné sklizni v závislosti na růstu konkrétního druhu kultivované řasy. [13]

Požadavkem kultivace v průmyslovém měřítku je výroba největšího možného množství řas na co nejmenší zastavěnou plochu. V současné době jsou řasy vnímány také jako obrovský přínos vzhledem k absorpci skleníkového plynu CO_2 při svém růstu. [13, 14]

2.2 Otevřené kultivační systémy

Nejběžněji využívanou kategorií kultivarů jsou při velkoobjemové produkci otevřené systémy. Investiční i provozní náklady těchto systémů jsou poměrně malé a cena výsledného produktu výrazně nižší. Zástupci této skupiny jsou korytové nádrže a kaskádové systémy. [14, 15]

Korytové nádrže

Konstrukce tohoto systému se skládá pouze z koryta a oběžného kola. Koryto by mělo být navrženo tak, aby nedocházelo k usazování nečistot na jeho dně. Z tohoto důvodu je nejčastěji kruhového či oválného tvaru a jako materiál se využívá beton nebo nerezová ocel. Hloubka kanálu ve většině případů nepřesahuje 0,3 m. Již tato hodnota je hraniční pro dostatečné prozáření kultivačního média, a proto má oběžné kolo za úkol jeho cirkulaci v celém rozsahu nádrže. [13, 14, 15]



Obrázek 2.2 – Korytové nádrže [17]

Kaskádové systémy

Na zcela jiném principu pracují tzv. kaskádové systémy. Tenká vrstva kultivačního média stéká po sériově zapojených plechových panelech pod určitým sklonem, který lze dle potřeby regulovat. [13]

Dochází zde k dostatečnému prozáření celého objemu kultury, jehož množství je však v porovnání s první variantou velmi malé. Z toho vyplývá, že produkce biomasy na zastavěnou plochu je u této varianty v celkovém měřítku značně menší. [13, 14]



Obrázek 2.3 – Kaskádový systém [13]

2.3 Uzavřené kultivační systémy

Ve většině případů se jedná o FBR, který slouží pro vědecké či laboratorní účely. Jelikož je zde jednodušší regulace ideálních podmínek, dochází k produkci stálého množství kvalitnější biomasy. Náklady na provoz fotobioreaktoru (především umělého osvětlení) se projeví na ceně výsledného produktu. [13]

Za nejefektivnější z hlediska produkce řas na objem média se považují trubkové, panelové a válcové fotobioreaktory. Důležitou podmínkou, kterou musí každé konstrukční řešení splnit, je dostatečná průhlednost stěn. Některé z těchto variant jsou konstruovány také jako polouzavřené. Nejčastěji využívanými konstrukčními materiály jsou plasty, fólie či sklo. Stejně jako u otevřených systémů se při volbě vhodného fotobioreaktoru bere ohled na druh kultivovaného kmene. [13, 14]

Problémem uzavřených kultivačních systémů je usazování řas a nečistot na průhledných stěnách, což má za příčinu postupné snižování propustnosti světelného záření. Z tohoto důvodu je nutná občasná údržba celého kultivačního ústrojí. [13]

Trubkové fotobioreaktory

Nejvýhodnější pro kultivační proces ve venkovním prostředí jsou trubkové fotobioreaktory. Dle uspořádání trubek, ve kterých probíhá řízený kultivační proces, lze tyto FBR rozdělit na horizontální, vertikální nebo jinak nakloněné. [14]

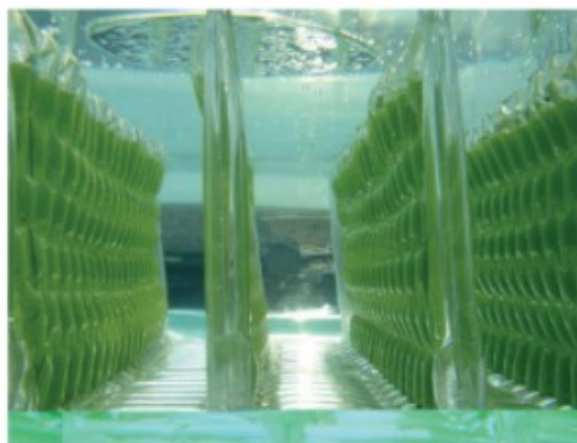
Základními stavebními částmi těchto fotobioreaktorů jsou trubky o průměru 30 – 50 mm a tvarové prvky pro změnu směru proudění. Plyn a ostatní živiny jsou do kultury přiváděny zpravidla přes samostatně oddělenou nádobu, ze které se dále čerpadlem rozvádí do celého systému a dochází tak k cirkulaci média. Rychlost proudění kultury u velkoplošné výroby je v rozmezí 0,2 – 0,5 m.s⁻¹. [15]



Obrázek 2.4 – Trubkové fotobioreaktory [15]

Panelové fotobioreaktory

Základními druhy panelových FBR jsou obdélníkové nádoby, plastové vaky ne zcela stabilního tvaru a fóliové panely. Parametry kultivarů jsou navrženy tak, aby na sebe jednotlivé panely nestínily a nedocházelo tak k omezování kultivace v tomto prostředí. Obvyklá výška kultivačního zařízení je 0,5 – 1 m. Hloubka se pohybuje v rozmezí 0,01 – 0,1 m v závislosti na konstrukčním řešení. Promíchávání média je u panelových fotobioreaktorů umístěno na dně zařízení. Dostatečná cirkulace je zajištěna vzduchem či spalovacími plyny bohatými na CO₂. Tento uzavřený systém lze konstruovat také jako polouzavřený. [13, 14, 15]



Obrázek 2.5 – Panelové fotobioreaktory [15]

Válcové fotobioreaktory

Třetím nejběžněji využívaným typem uzavřených kultivačních systému jsou válcové FBR. Tato provedení se vyskytují především v laboratorním prostředí. Z důvodu nedostatečného prozáření celého objemu média je zde nutné použití umělého osvětlení. V některých případech jej lze umístit také uvnitř válce. Stejně jako u panelových fotobioreaktorů je i v tomto případě zdroj CO_2 přiváděn ze dna nádoby a dochází tak k promísení a rozvedení potřebných živin do celého objemu. V těchto případech je důležité umístění odsávání vyprodukovaného kyslíku v horní části kultivaru. Tento systém lze konstruovat také jako polouzavřený. Válcové nádoby jsou pro kultivační proces poměrně finančně náročnou variantou. [13, 14]



Obrázek 2.6 – Válcové fotobioreaktory [14]

2.4 Výhody a nevýhody kultivačních systémů

Podstatou produkce není pouze kvantita ale také kvalita výsledného produktu. Vzhledem k druhu kultivované řasy je potřeba zvolit správný kultivační systém. V případě venkovního umístění fotobioreaktoru odpadá povinnost zajištění osvětlení média. Umělé osvětlení znamená značné prodražení výrobního procesu, a proto se využívá především pro laboratorní účely. [13, 14]

U otevřených systémů je největším problémem kontaminace média. Zdrojem znečištění mohou být plynné složky z okolního prostředí nebo pevné elementy, například exkrementy ptáků. Korytové nádrže mají k dispozici velký objem kultivačního média, nicméně v případě velké hloubky nedochází k prozáření v celém jeho rozsahu. Tento problém zcela zaniká u kaskádových systémů, kde je tenká vrstva kultivačního média dostatečně prozářena. Poměr vyprodukovaného množství mikrořas a objemu média na zastavěnou plochu je u tohoto typu fotobioreaktoru velmi malý. [14, 16]

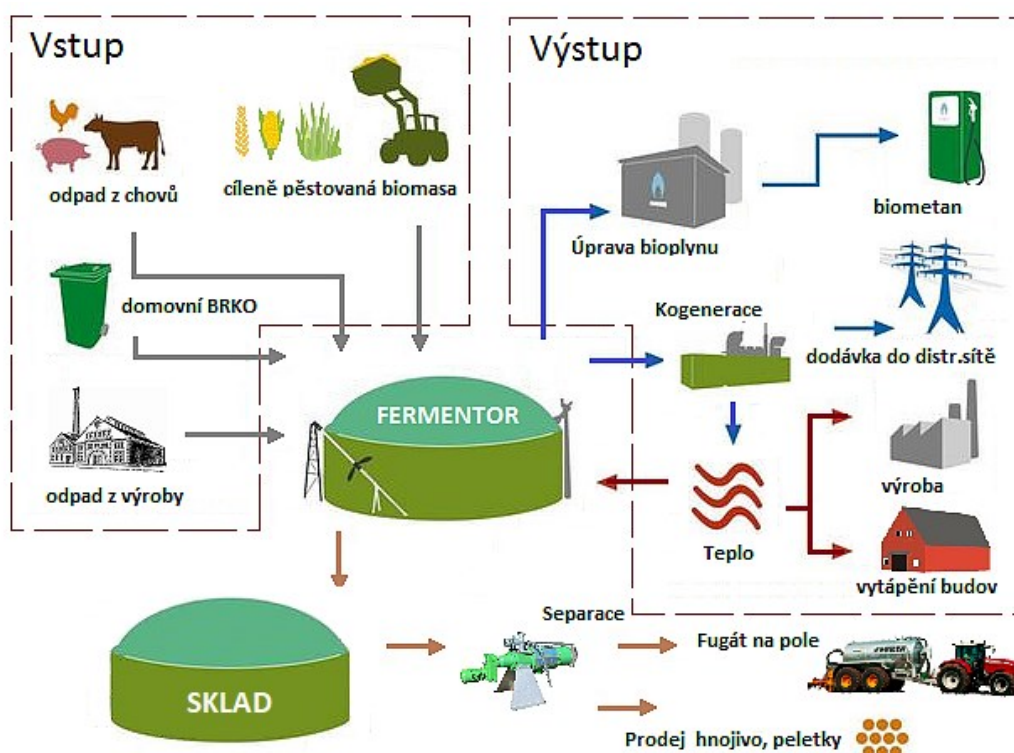
Hlavní výhodou uzavřených systémů je velikost prozářené plochy. Ta je ve vztahu s objemem média poměrně velká. Vzhledem k usazování nečistot na transparentních plochách, které způsobuje zhoršení prostupu světla do média, je nutná občasná údržba celého zařízení. Trubkové systémy jsou velmi efektivním zařízením. U vertikálního řešení je nutná konstrukce přidržujících podpor, což souvisí s vyššími investičními náklady. Panelový FBR, na rozdíl od válcového, pak zajišťuje prozáření celého objemu velkého množství média. Tím jej řadí mezi nejefektivnější konstrukční řešení. [14]

3 BIOPLYNOVÁ STANICE

Bioplynová stanice je zařízení sloužící ke zpracování biologicky rozložitelného odpadu. Vstupní surovinou zemědělských bioplynových stanic je biomasa nejčastěji v podobě kejdy hospodářských zvířat, zemědělských produktů či jiných organických odpadů. Výslednými produkty jsou digestát a bioplyn, který se řadí mezi obnovitelné zdroje energie. Bioplynové stanice mají ve svém objektu také kogenerační jednotku, která využívá právě vyprodukovaný bioplyn jako palivo pro výrobu elektrické a tepelné energie. Jiným typem mohou být odpadářské bioplynové stanice. Ty využívají jako vstupní materiál kaly z čističky odpadních vod (ČOV), gastroodpady nebo lihovarnické výpalky. [2, 19]

3.1 Technologické celky bioplynové stanice

Existují různá provedení bioplynových stanic a lze je proto rozdělit např. podle zvoleného fermentovaného materiálu, procesu suché či mokré fermentace nebo uspořádání jednotlivých technologických celků. Pro návrh topného systému (dále jen TS) fotobioreaktoru je výchozí BPS s mokrou fermentací, a proto je potřeba přiblížit základní části tohoto zařízení. [2]



Obrázek 3.1 – Schéma bioplynové stanice [18]

Zdroj materiálu

Podstatným kritériem pro chod bioplynové stanice je produkce vstupních surovin v jejím nejbližším okolí. Dovoz z větší vzdálenosti je neekonomický. Většina těchto zařízení má proto svůj vlastní chov hospodářských zvířat a pole pro produkci zemědělských plodin. Vstupní zemědělskou biomasou jsou cíleně pěstované rostliny, silážní kukuřice, obiloviny aj. Před uskladněním materiálu je nutná kontrola množství a identifikace materiálu. [2, 3, 4]

Příjem a úprava materiálu

V této fázi probíhá uskladnění, ředění a míchání vícero druhů biomasy pro optimalizaci požadovaných parametrů (poměr C:N, pH, obsah sušiny). V případě nutnosti, především v zimních měsících, je před vkládáním do fermentoru možný také předehřev vstupního materiálu. [2, 3]

Fermentační proces

Nejpodstatnější částí bioplynové stanice je fermentor. Jde o nádrž nejčastěji válcového či kruhové tvaru, která zajišťuje vhodné podmínky k produkci bioplynu. Aby nedocházelo k přístupu vzduchu a mohl být správně proveden proces anaerobní fermentace, je potřeba dokonalého utěsnění od okolního prostředí. [2, 3, 4]

Nutností je pravidelné promíchávání jako prevence před usazováním ve spodní části nádrže a vzniku plovoucí vrstvy na povrchu. Ohřev fermentovaného materiálu je zajištěn pomocí trubkových výměníků na vnitřní straně stěn jednotlivých nádrží. Pro zachycení většího množství bioplynu se v praxi využívá propojení fermentorů v paralelních větvích s tzv. dofermentory. Vznikají zde již zmíněné produkty, které dále putují do bioplynové a kalové koncovky. Fermentační proces trvá průměrně 20 až 60 dní v závislosti na druhu a množství fermentovaného materiálu. [2, 3, 4]

Kalová koncovka

Pro odvedení vzniklého tekutého produktu slouží kalová koncovka. Digestát je z fermentačních nádrží odčerpáván a separátory rozdělen na fugát a separát. Jde o separaci z důvodu snadnější manipulace, skladování a následného rozdílného využití obou částí. [3, 19]

Separát (tuhá část) je umístěn do nádrže, kterou lze umístit také bezprostředně za fermentorem, což při přikrytí může zvýšit produkci bioplynu až o několik procent. Tuhou frakci lze uložit do kompostu nebo okamžitě využít jako hnojivo. Fugát (tekutá část) je přečerpáván do nádrží, odkud je později odebrán a po případném obohacení o potřebné přísady využit jako tekuté hnojivo. [3, 19]

Bioplynová koncovka

Za výstupem z fermentačních nádrží je umístěno hned několik prvků, které jsou nezbytné pro bezpečné a efektivní využití vyprodukovaného bioplynu. Jsou zde bezpečnostní zařízení proti zpětnému zahoření, systémy pro úpravu plynu (odstranění H₂O a CO₂, odsiřování), plynojemy, kogenerační jednotky a hořák zbytkového produktu. [2, 3]

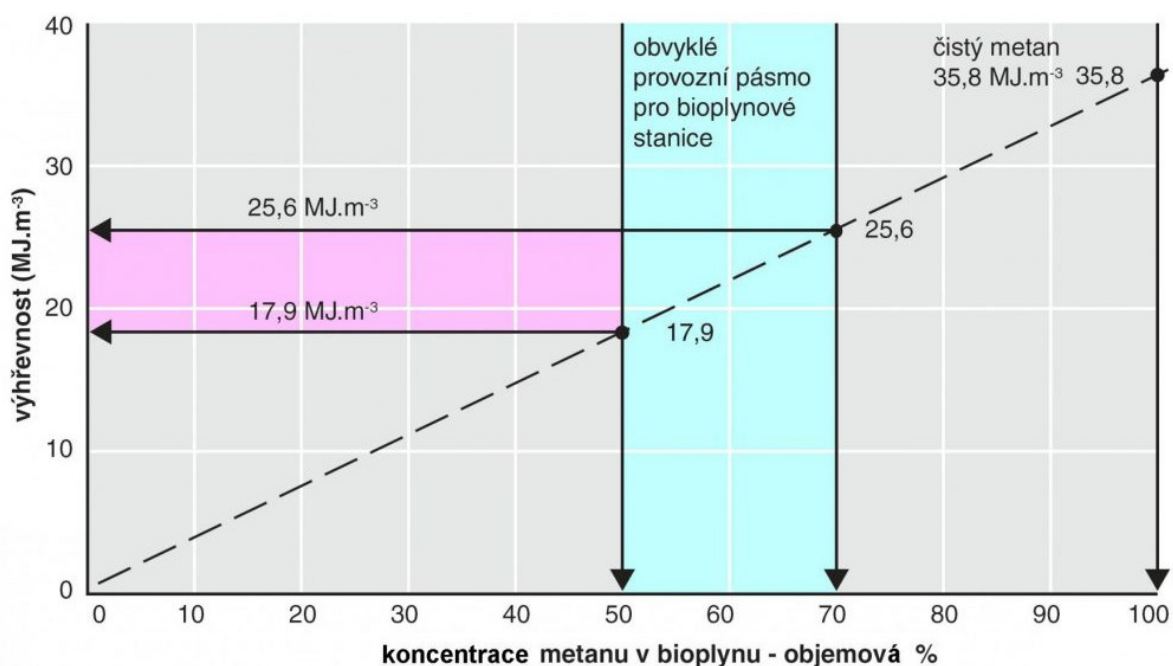
4 BIOPLYN

Označení bioplyn je vhodné pro všechny plyny, které vznikají rozkladem organických látek. V této práci je uvažován jako výsledný produkt vycházející z fermentoru bioplynové stanice. Obsah zastoupených prvků v bioplynu je závislý především na druhu substrátu, který vstupuje do procesu fermentace, pH a fermentační teplotě. [3, 5]

4.1 Složení a vlastnosti bioplynu

V ideálním případě, prakticky nedosažitelném při fermentačním procesu, jsou v bioplynu zastoupeny pouze majoritní složky v poměru 50 – 75 % metanu (CH_4) a 25 – 50 % oxidu uhličitého. Minoritními nežádoucími prvky, které se zde vyskytují a postupně se ze směsi odstraňují, jsou vodní pára (0 – 10 %), sulfan H_2S (do 1 %) a další ve stopovém množství. Jedním z prvků obsažených v bioplynu je také dusík, jenž se do příměsi dostává ze vzduchu během první fáze fermentace. Zdrojem sulfanu je především vepřová kejda. Jako biomasa s nejmenším zastoupením sulfanu se jeví silážní kukuřice. [3,21, 23]

Jiné plyny mohou signalizovat problémy týkající se výrobního postupu. Jsou-li v bioplynu obsaženy například stopy kyslíku, pravděpodobně se jedná o netěsnosti fermentačního zařízení. Vodík signalizuje přetížení a nerovnováhu jednotlivých fází. Malé množství minoritních prvků v celkové směsi plynů nemá téměř žádný energetický význam. [21, 23]

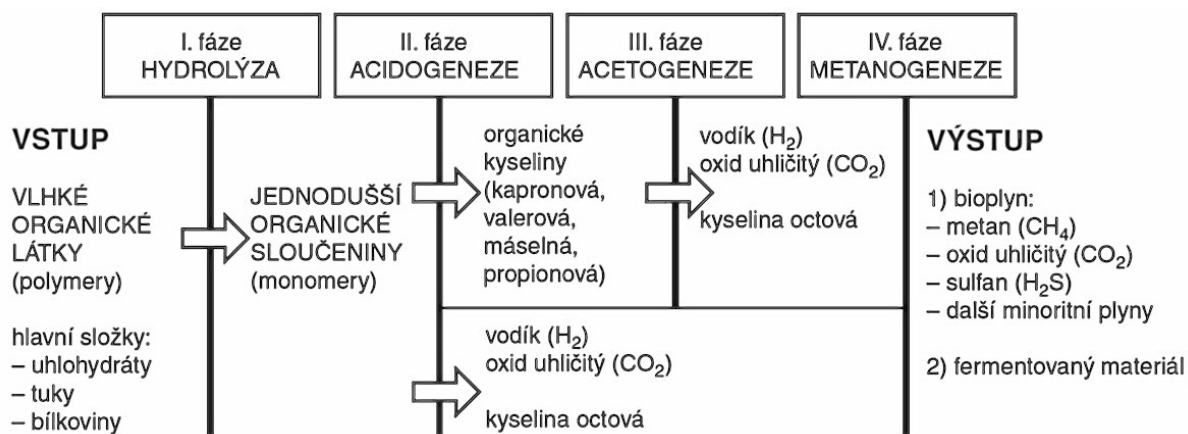


Obrázek 4.1 – Závislost výhřevnosti bioplynu na koncentraci metanu [21]

Jelikož je metan majoritním prvkem bioplynu, udává nebo do značné míry ovlivňuje téměř všechny jeho vlastnosti. Výhřevnost výsledného produktu v bioplynových stanicích odpovídá hodnotě 17,9 – 25,6 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ (viz obrázek 4.1) Jedná-li se o suchý bioplyn, hodnota výhřevnosti je rovna spalnému teplotu. [2, 21]

4.2 Anaerobní fermentace

Metanové kvašení, anaerobní digesce, biometanizace nebo anaerobní fermentace představuje název pro biologický rozklad organických látek bez přístupu kyslíku. Jedná se o velmi složitý proces, který lze vyjádřit pomocí zjednodušeného schématu ve čtyřech fázích (viz obrázek 4.2). [2, 22]



Obrázek 4.2 – Zjednodušené schéma anaerobní fermentace [21]

HYDROLÝZA

První fáze probíhá za přístupu menšího množství kyslíku a vlhkosti více než 50 %. Dochází zde k přeměně makromolekulárních látek (polysacharidy, lipidy, bílkoviny) na nižší monomery. [2, 20]

ACIDOGENEZE

Od této fáze procesu není přítomen kyslík a roste kyselost prostředí. Organické sloučeniny, vyprodukované v první fázi, se rozkládají na nižší mastné kyseliny. Vzniká zde oxid uhličitý, vodík a kyselina octová (CH_3COOH). [2, 20]

ACETOGENEZE

Třetí fáze slouží jako mezistupeň pro přeměnu organických kyselin. Produkty této transformace jsou stejné jako u acidogeneze jen ve větším množství. U probíhajících reakcí acetogeneze dochází ke spotřebě tepla, a proto je nutné jeho pravidelné dodávání. Taková reakce se označuje jako endotermická. [2, 20]

METANOGENEZE

Pro vznik bioplynu je nejdůležitější poslední fáze. Rozklad především kyseliny octové na metan a oxid uhličitý trvá přibližně pětikrát déle než předchozí úseky dohromady. Proto je nutné přizpůsobit dávkování materiálu a konstrukci celého systému optimálním podmínkám pro činnost metanogenních bakterií. Tyto bakterie jsou citlivé na jejich kolísání. Na rozdíl od acetogeneze probíhá u poslední fáze reakce s uvolňováním energie, tedy exotermická. [2, 20, 23]

Optimální podmínky pro udržení stability anaerobní fermentace: [2, 23]**a) obsah sušiny materiálu;**

- Tekutý odpad: kejda 8 – 14 %.
- Pevný odpad: slamnatá mrva 22 – 25 %.

b) teplota fermentovaného materiálu vázána na bakterie;

- Bakterie psychrofilní: pod 20 °C.
- Bakterie mezofilní: 25 – 35 °C.
- Bakterie termofilní: nad 45 °C.

c) vodíkový exponent fermentovaného materiálu (pH);

- První tři fáze: 4,5 – 8 (proměnlivé).
- Metanogeneze: 6,7 – 7,6.

d) poměr uhlíku a dusíku 30:1;**e) zamezení přístupu inhibitorů (utlumovačů) do materiálu.**

4.3 Úprava a skladování bioplynu

Úprava bioplynu

Jak již bylo zmíněno, v bioplynové koncovce dochází k úpravě bioplynu a odstranění nežádoucích prvků, které by mohly způsobit problémy při následném energetickém využití. Cílem těchto úprav je vznik bioplynu s co největším procentuálním zastoupením metanu dle požadavků provozovatele. Je-li záměrem výroba biopaliv, jedná se o úpravu na biometan s obsahem CH₄ větším než 95 %. Nejnutnější úpravy potřebné pro následné využití bioplynu v kogenerační jednotce jsou odstranění vodní páry, oxidu uhličitého a odsíření. [2, 3, 24]

První z řady úprav je odstranění vodní páry. Pro zamezení vzniku koroze či ucpávání potrubí z důvodu vzniku kondenzátu, je voda v nejnižším místě potrubí odčerpávána. Tepelné čerpadlo využívá nejprve ochlazování bioplynu v tepelném výměníku pod jeho rosný bod, poté je vytvořený kondenzát odloučen a následuje ohřátí a uvolnění suchého bioplynu do dalšího procesu. [2, 3, 24]

Aby nedocházelo ke spalování bioplynu s obsahem sulfanu, a tím ke vzniku korozivně působící kyseliny sírové, přichází na řadu další očišťovací operace. Odsířování již suchého bioplynu lze provést přívodem malého množství vzduchu, využitím aktivního uhlí apod. Volba vhodné metody odsířování závisí na druhu fermentovaného materiálu. [3, 24]

Skladování bioplynu

Pro účely skladování bioplynu slouží vyrovnávací plynojemy. Ve většině případů je tento prostor umístěn nad fermentační nádrží. Plynojemy mohou být vyrobeny z gumotextilní fólie, plastu (PVC) nebo jiných stavebních materiálů. Podle tlaku rozlišuje Benda a kol.³ plynojemy s velmi nízkým tlakem (do 5 kPa), nízkotlaké (5 – 50 kPa), středotlaké (50 – 2 000 kPa) a vysokotlaké (13 – 35 MPa). Při nadměrné produkci bioplynu dochází k jeho spálení bezpečnostním hořákem (flérou). [3, 5]

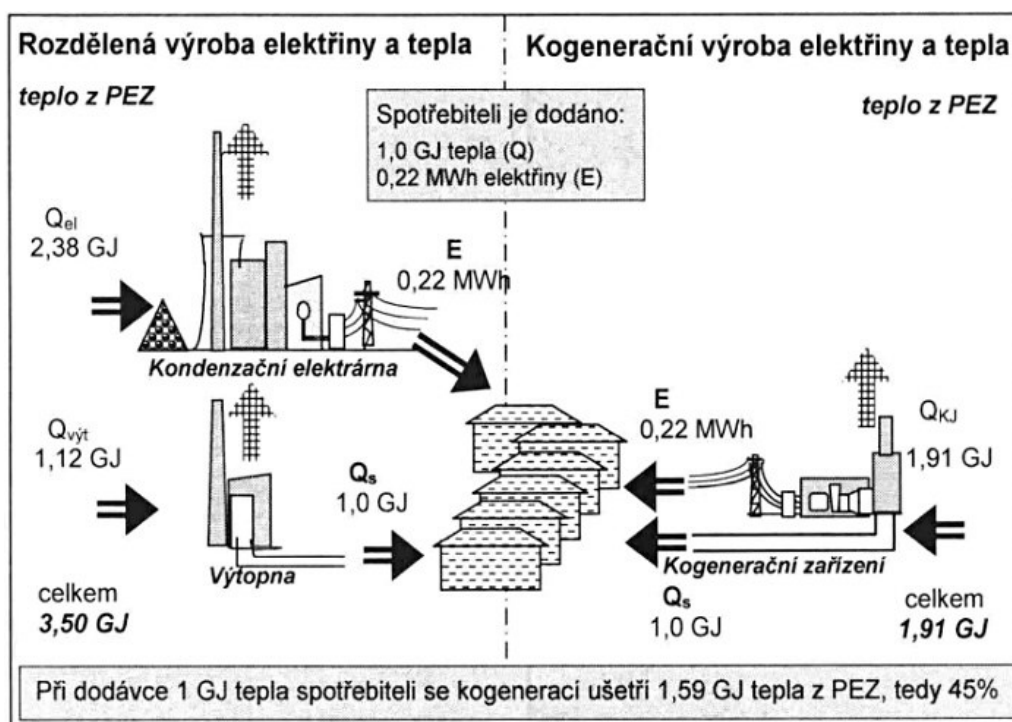
5 KOGENERACE

V současnosti je kladen velký důraz na co nejúčinnější, a především ekologické využívání či zpracování primárních energetických zdrojů (PEZ). Mezi takové zdroje řadíme z řad neobnovitelných především uhlí, ropu a zemní plyn a v případě obnovitelných například biomasu. [25, 26]

Jelikož stále roste spotřeba elektrické a tepelné energie, je třeba věnovat pozornost jejich výrobě. Ta je pevně spojena s platností druhého termodynamického zákona, který naznačuje transformaci energií pouze s omezenou účinností. Jednou z možností, která přináší zvýšení účinnosti využití energie z paliva je kogenerace, také označovaná jako kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET). Vzhledem k využití vyprodukovaného tepla, které vzniká při transformaci energií, pracují kogenerační jednotky (KGJ) s účinností využití energie z paliva průměrně v řádu 80 – 90 %. [25, 26]

Na obrázku 5.1 je přehledně znázorněno porovnání rozdělené a kogenerační výroby elektřiny a tepla. Účinnosti jednotlivých zařízení jsou: [26]

- kondenzační elektrárna 33 %;
- výtopna 90 %;
- kogenerační zařízení se spalovací turbínou a kotlem na odpadní teplo 90 %.



Obrázek 5.1 – Porovnání rozdělené a kogenerační výroby elektřiny a tepla [26]

5.1 Kogenerační technologie

Transformace energií probíhá přímým či nepřímým způsobem. Přímým způsobem je myšlena přeměna tepelné energie PEZ bezprostředně na elektrickou energii. Tato varianta není příliš rozvinuta, nicméně se stále pracuje na jejím vývoji. Druhou možností je nepřímý způsob. Nejčastěji se jedná o metodu zahrnující tři na sebe navazující transformace. Po uvolnění tepelné energie z PEZ dochází k zisku technické práce potřebné pro mechanický pohon a mechanická energie je následně přeměněna na energii elektrickou. [6]

Všechny transformace jsou prováděny v kogenerační jednotce. Právě toto zařízení tvoří většinový podíl počátečních investic při kombinované výrobě elektrické a tepelné energie. Základními částmi kogenerační jednotky jsou: [6, 26]

- systémy pro úpravu paliva (není-li palivo upraveno již mimo kogenerační zařízení);
- primární pohonná jednotka;
- zařízení pro výrobu elektrické energie včetně připojení k elektrické síti;
- rekuperační výměníky nebo kotle včetně připojení k tepelné síti;
- zařízení pro kontrolu a řízení správného chodu.

Paliva a jejich úprava

Vzhledem k poměrně rychlému vývoji v oblasti KVET mohou být dodávaným palivem pro kogenerační zařízení látky libovolného skupenství. Mezi tuhá paliva patří biomasa, kusové i nekusové dřevo, černé uhlí a hnědé uhlí. Na kapalná paliva je kladen důraz především v oblasti bezpečného skladování s ohledem na odlišnou teplotu vznícení. Výhodou je, že pro spálení kapalných paliv je potřeba minimálního přebytku vzduchu. Do této skupiny patří topné oleje (ELTO, LTO), metanol, etanol nebo bionafta (MEŘO). Za plynná paliva lze uvést propan, butan, zemní plyn, bioplyn. Ne každé palivo je však stejného původu, a proto je dělíme také na: [6, 25]

- fosilní paliva – uhlí, ropa, zemní plyn;
- alternativní paliva – jaderné palivo, vodík;
- biopaliva – bioplyn, fyto-paliva.

Alternativní paliva nejsou běžně využívána, jelikož je jejich výroba finančně i energeticky náročná. Velmi často nedochází k požadovanému energetickému zisku z vyrobeného paliva. [8]

Nejčastější úpravou jednotlivých paliv je odstranění nežádoucích příměsí (síra, oxid uhličitý). V závislosti na odstranění těchto složek stoupá koncentrace energeticky významných prvků. Dalšími úpravami mohou být zušlechťování nebo úprava pracovních podmínek paliva (teplota paliva, pracovní tlak). Podrobnější informace o úpravě bioplynu, jako paliva pro pohon v kogeneračním zařízení, byly uvedeny již v kapitole 4. [6, 25]

5.1.1 Rozdělení kogeneračních technologií

Kogeneraci lze provést mnoha způsoby. Volba správné kogenerační jednotky je ve většině případů značně ovlivněna dostupností paliv. Záleží také na druhu požadované energie ze strany spotřebitele. Je nutné uvést alespoň pár základních rozdělení kogeneračních technologií. [6, 26]

1) Dle použitého paliva:

- recentní (obnovitelné);
- fosilní paliva (neobnovitelné).

2) Dle způsobu využití:

- základní;
- špičkové;
- záložní;
- rezervní;
- specifické.

3) Dle výkonu (v rozmezí 1 kW_e – 500 MW_e):

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| • mikro-kogenerace | < 50 kW _e ; |
| • mini-kogenerace | < 500 kW _e ; |
| • malé | < 1 MW _e ; |
| • střední | < 50 MW _e ; |
| • velké | > 50 MW _e . |

4) Dle použité technologie:

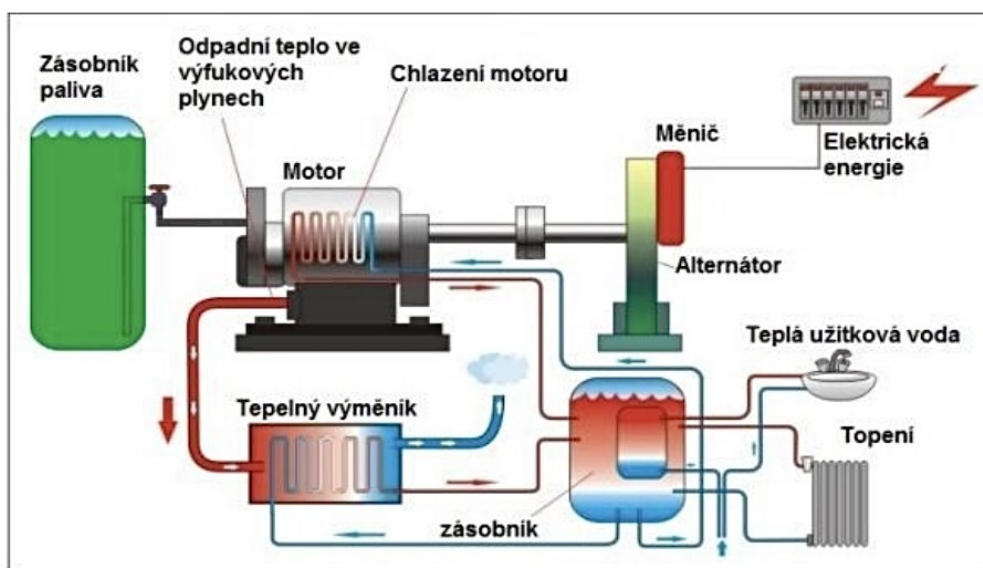
- parní kogenerace – parní turbíny, parní motory;
- plynová kogenerace – spalovací turbíny, spalovací motory;
- paroplynová kogenerace – spalovací turbína, spalovací motor, dvoutlakový kotel;
- speciální kogenerace – palivové články, Stirlingův motor;
- trigenerace.

5.2 Kogenerační zdroje se spalovacími motory pro využití bioplynu

Nejvyužívanější kogenerační technologií v bioplynových stanicích jsou KGJ se spalovacími motory. Právě proto je v této práci věnována pozornost především kogeneračním zařízením tohoto typu. Základem zdrojů jsou rekonstruované pístové motory s vnitřním spalováním, generátor elektrické energie a tepelné výměníky pro využití odpadního tepla. [6, 26, 34]

U motoru je podstatná především úprava palivového systému pro vytvoření směsi vzduchu a vstřikovaného paliva. Pro získání maximální účinnosti a výkonu motoru musí probíhat spalování této směsi s mírným přebytkem vzduchu. Je-li spalování prováděno za velkého přebytku vzduchu, zvyšuje se množství nežádoucích prvků ve spalínách – nespálené uhlovodíky či oxid uhelnatý (CO). [6, 26, 34]

Princip KGJ se spalovacím motorem je znázorněn na obrázku 5.2. Je odtud mimo jiné patrné, že spalovací motor není pouze zdrojem mechanické energie pro pohon elektrického generátoru, ale také zdrojem energie tepelné, která je sekundárním produktem kogenerační jednotky.



Obrázek 5.2 – Schéma kogenerační jednotky se spalovacím motorem [28]

Kogenerační jednotky se zážehovými plynovými motory

Ottův (zážehový) plynový motor pracuje na stejném principu jako zážehové motory, které jsou běžně využívány v dopravním průmyslu. Hlavním palivem je v tomto případě zemní plyn nebo bioplyn. Obsah metanu v bioplynu se nesmí dostat pod hranici 45 %. Pro uvedení bioplynových stanic do provozu lze využít jako palivo zemní plyn. [26, 27, 29]

K zážehu směsi paliva a vzduchu dochází ve válci pomocí elektrické jiskry. Plnicí tlak vzduchu je zvyšován turbodmychadlem a palivo tak lze přivádět do směšovače standardním způsobem. [29, 30]

Kogenerační jednotky se vznětovými dvoupalivovými motory

Také vznětové motory lze využít pro přeměnu energií v KGJ. Podstatným rozdílem oproti klasickým strojům, pracujících dle diesela principu, je přiváděné palivo. Primární je zde využití bioplynu, který společně se vzduchem tvoří směs plynů dodávanou do spalovacího prostoru. Jelikož vznětový motor pracuje na principu samovznícení, je potřeba dodávat palivo, které vyhovuje těmto požadavkům. Vedle kapalných fosilních paliv a LTO to mohou být také biopaliva (rostlinné oleje, bionafta). Toto doplňkové palivo tvoří pouze 4 – 10 % z celkového množství dodávaného paliva. [27, 29]

Kogenerační jednotky s upravenými vznětovými motory

Třetím způsobem pro využívání bioplyn jsou upravené vznětové motory na plynový zážehový provoz. Původní vstřikovací zařízení zde nahrazuje směšovač plynu a zařízení pro zážeh z cizího zdroje. Tato varianta je dražší a u zemědělských bioplynových stanic nenachází své uplatnění. [29, 30]

5.3 Přehled výrobců kogeneračních jednotek

Výrobou KGJ se jako jedna z prvních na českém trhu začala zabývat již v roce 1991 společnost TEDOM a.s. z Třebíče. Na počátku byl jediným jejím produktem zdroj o elektrickém výkonu 22 kW_e. Dnes již mezinárodní společnost TEDOM nabízí KGJ s výkonem 7 kW_e až 10 MW_e, jejíž součástí jsou motory vyrobeny rovněž touto společností.

Dalším výrobcem kogeneračních zdrojů je firma Zeppelin CZ s.r.o., která pro obchodní účely využívá název BOOMEL. Pro snadnou identifikaci KGJ dle provozního paliva využívá tato společnost označení NAT GAS (zemní plyn) a LOW GAS (bioplyn). Také BOOMEL nabízí kogenerační zdroje dle požadavků až do výkonu 10 MW_e. Pro pohon jsou v těchto systémech využívány motory amerického výrobce Caterpillar.

Mezi další výrobce zabývající se kogenerací lze uvést společnosti SCHNELL, GENTEC, Viessmann, Bosch nebo Buderus. Výrobu pohonů pro KGJ zajišťují INNIO Jenbacher, MAN, DEUTZ nebo CAPSTONE. Existuje také řada společností, které vyvíjí nové technologie v této oblasti. Jsou jimi např. B:POWER, a.s. nebo slovenská firma HELOORO s.r.o. vlastníci inovativní systém zpracování odpadního tepla.

5.4 Uplatnění kogenerace

Kogenerace je využívána pro průmyslové, veřejné a dnes již také soukromé účely. Velmi často se tato zařízení objevují v nemocnicích, hotelech, lázních, čističkách odpadních vod nebo jiných průmyslových podnicích. Dle pohonu se dělí do pěti skupin. V tabulce 1 jsou uvedena jednotlivá uplatnění kogenerace společně s pohony generátorů. [26]

Tabulka 1 – Oblasti uplatnění kogenerace společně s využívanou technologií [26]

Malá zařízení pro vytápění budov	Spalovací motory Mikroturbíny Stirlingovy motory Palivové články
Malá zařízení průmyslových podniků	Spalovací motory Palivové články
Velká zařízení pro výrobu páry u velkých komplexů	Spalovací motory Parní turbíny Spalovací turbíny
Velká zařízení pro dodávku tepla	Parní turbíny Spalovací turbíny
Zařízení s využitím obnovitelných zdrojů	Spalovací motory Parní turbíny Spalovací turbíny

Při instalaci zařízení je nutná také volba správného počtu kogeneračních jednotek. Je-li využita právě jedna KGJ, je nejpodstatnějším kritériem její spolehlivost. V závislosti na produkci energie dochází během odstávky k velkým finančním a energetickým ztrátám. Kombinací dvou či více KGJ lze dosáhnout vyšší spolehlivosti produkce. V tomto případě je vhodné zvolit zařízení jednoho typu od stejného výrobce. Instalace vícero jednotek s menším instalovaným výkonem způsobuje navýšení investičních nákladů a pokles elektrické účinnosti. Taková instalace je neefektivní. [27]

5.4.1 Využití odpadního tepla

Nedostatečným odběrem energií z kogeneračního zařízení se snižuje efektivita těchto strojů. Jelikož se KGJ odlišují svou celkovou vysokou účinností, je potřeba nalézt jejich dostatečné využití. Tepelnou energii lze odvádět z pohonu elektrického generátoru těmito způsoby: [26]

- chlazení motoru;
- teplo výfukových spalín;
- chlazení mazacího oleje.

Spalinami o teplotě 400 – 540 °C lze vyrábět v tepelném výměníku páru, popřípadě ohřívat tlakovou vodu na teploty vyšší než 110 °C. Pro ochlazování oleje slouží jiný vhodný chladicí okruh. Voda v tomto okruhu dosahuje teploty okolo 80 °C. [26]

Vyprodukované teplo není ve většině případů využíváno v celém rozsahu. Příkladem jsou bioplynové stanice, kde u malých stanic dochází ke spotřebě tepla jen pro vlastní spotřebu. Vytápění fermentorů a administrativních budov zahrnuje pouze 15 – 30 % z celkové produkce. Pro další spotřebu je potřeba vyvinout teplovodní sítě, které by zajistily další využití tepelné energie v bezprostřední blízkosti BPS. V současnosti se nabízí stále více možností pro zvýšení procenta využití odpadního tepla. Vedle kultivace řas lze uvést ORC spalínové systémy, horkovodní ORC systémy, vytápění skleníků či jiné využití v zemědělství. [26, 29]

5.5 Výhody a nevýhody kogenerace

Oproti rozdělené výrobě zajišťuje kogenerace značné zvýšení účinnosti využití energie z paliva. Tento druh přeměny energií s sebou nese výhody i nevýhody: [6, 26, 31]

- + snížení emisí škodlivých látek;
- + přeměna energií u místa spotřeby => snížení ztrát přenosem;
- + možnost napojení na stávající technologie a sítě;
- + konkurenční zdroj zásobování energií;
- vysoké investiční náklady;
- zajištění ochrany proti hluku;
- zajištění odběru obou energií.

6 TEPELNÉ VÝMĚNÍKY

Pro přerušovaný či kontinuální přenos vyprodukované tepelné energie (nejen z kogeneračních jednotek) do místa spotřeby slouží tepelné výměníky. K přenosu dochází z důvodu rozdílných teplot teplotonosných médií, kdy látka o teplotě vyšší (ohřívací médium) předá část své vnitřní energie látce o teplotě nižší (ohřívané médium). Jedná se o nejstarší prvek v oblasti tepelné technologie. Vzhledem k možnostem všestranného využití nachází v energetice své uplatnění dodnes. S postupným vývojem vzniká stále více konstrukčních řešení výměníků pro získání podmínek, které by zajistily co nejlepší přenos tepla. [7, 9]

6.1 Přenos tepla

Energetické využití tepla je spojeno se sdílením pomocí vícero teplotonosných látek. Některé vystupující látky přímo ze zdroje nedosahují potřebného složení či kvality jako jiné ohřívané médium využíváno ve spotřebiči. Příkladem mohou být výfukové spaliny z kogeneračních jednotek, které slouží pouze jako ohřívací médium. Celkový přenos tepelné energie je výsledkem tří základních druhů sdílení tepla: [9, 10, 32]

- vedení – kondukce;
- proudění – konvekce;
- záření, sálání – radiace.

Sdílení tepla vedením – kondukce

Tepelná kondukce je založena na vzájemné interakci strukturních částic hmoty. Vlivem srážek neuspořádaně se pohybujících částic dochází k přenosu tepelné energie z oblasti s vyšší teplotou do míst s teplotou nižší. Kondukce může probíhat ve všech skupenstvích. V případě tekutin však pouze za podmínek, je-li zanedbatelný vliv jejich pohybu. Pro tepelnou kondukcí je charakteristický Fourierův zákon: [9, 32]

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7.1)$$

Kde q je hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$];
 λ je součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
 $\text{grad } t$ je teplotní gradient [$\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$].

Sdílení tepla prouděním – konvekce

Dalším způsobem sdílení tepla je tepelná konvekce. Dochází k ní pouze v tekutinách při pohybu částic o rozdílné teplotě. Konvekci lze rozdělit na přirozenou a vynucenou. Přirozená (volná) konvekce je závislá pouze na rozdílných teplotách stěny a proudící tekutiny, zatímco vynucené proudění je zajištěno jiným vnějším činitelem (např. čerpadlem). Podstatná je zde hodnota součinitele přestupu tepla (α), která je značně vyšší u vynucené konvekce. [9, 20, 32]

Vyšší hodnota součinitele přestupu tepla α je vyžadována pouze v případě, kdy dochází k co největšímu přestupu tepelné energie, jako je to v případě rekuperačních výměníků. Není-li toto kritérium splněno, jsou stěny na straně nižšího součinitele přestupu tepla opatřeny žebrováním. Tím dojde ke zvětšení teplosměnného povrchu a snížení odporu proti prostupu tepla. V případě, kdy je požadován pouze rozvod teplonosných médií, je naopak hodnota tohoto součinitele vyžadována co nejnižší. Pro snížení tepelných ztrát a povrchových teplot slouží materiály špatně vedoucí teplo, popřípadě tepelné izolace. [9, 32, 33]

Tepelný tok je u tepelné konvekce vyjádřen tímto vztahem: [32]

$$Q = \alpha \cdot \Delta t \cdot S \text{ [W]} \quad (7.2)$$

Kde Q je tepelný tok [W];
 α je součinitel přestupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$];
 Δt je rozdíl teploty tekutiny a stěny [K];
 S je teplosměnný povrch [m^2].

Sdílení tepla zářením, sáláním – radiace

Zcela odlišný způsob sdílení tepelné energie je záření. Princip přenosu je založen na elektromagnetickém vlnění, tedy energii, kterou vyzařuje každá látka. Z tohoto důvodu není potřeba, aby docházelo k přímému kontaktu teplonosných médií či pevných těles. Vyzářením energie dojde po dopadu na jinou látku k částečnému odražení, ale také pohlcení určitého množství zářivé energie. Pro intenzitu vyzařování platí Stefanův-Boltzmannův zákon: [9, 32, 33]

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (7.3)$$

Kde E je intenzita vyzařování [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$];
 ε je experimentálně určený emisní součinitel [–];
 σ je Stefanova-Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^4$];
 T je teplota povrchu tělesa (absolutní) [K].

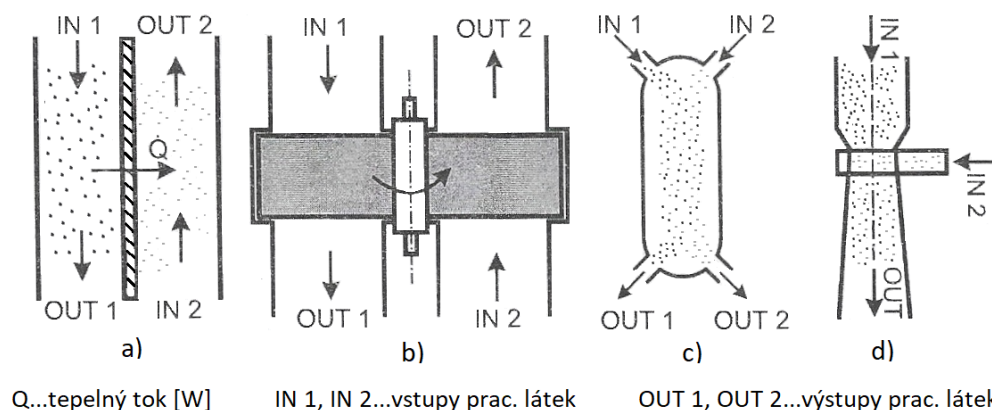
6.2 Rozdělení tepelných výměníků

Přenos tepelné energie je možno provést několika způsoby. Je proto nutné uvést alespoň pár základních rozdělení výměníků, ať už v závislosti na konstrukčním řešení, způsobu přenosu tepla nebo jeho využití. [7, 32]

Teplonosné látky mohou, ale také nemusí, přijít do přímého kontaktu. Vzhledem k požadovaným parametrům není v některých případech možné jejich promísení, a proto dělíme výměníky podle pracovního pochodu (viz obrázek 6.1) na: [7]

- a) **rekuperační** – pracovní látky jsou odděleny nepropustnou stěnou, dochází zde k přestupu tepla vedením a prouděním;
- b) **regenerační** – obě teplonosná média jsou střídavě vháněna do vymezeného prostoru, odkud ohříváné médium přijímá naakumulované teplo pomocí zprostředkujícího elementu, je možné částečné promísení médií;
- c) **kontaktní** – dochází ke vzájemnému kontaktu médií o rozdílné fázi, po předání tepla jsou pracovní látky znovu odděleny, pevná fáze určuje velikost teplosměnné plochy;

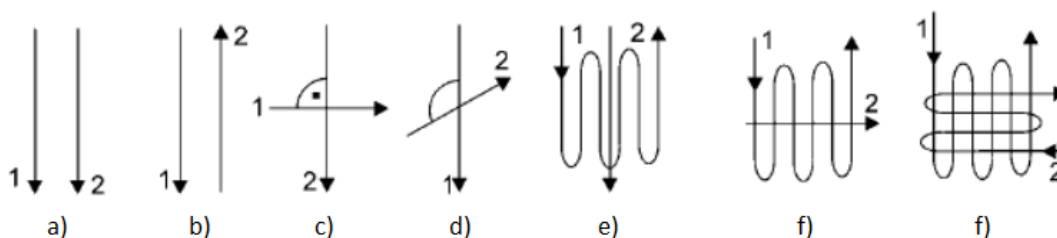
d) směšovací – ohřívací i ohřívané médium tvoří homogenní směs, teplosměnné plochy v tomto případě neexistují.



Obrázek 6.1 – Rozdělení tepelných výměníků podle pracovního pochodu [7]

Dalším možným rozdělením s ohledem na přenos tepla a konstrukční řešení je rozdělení podle vzájemného směru proudění teplotnosných médií: [7]

- a) **souproudé** – osy proudění obou médií jsou rovnoběžné;
- b) **protiproudé** – osy proudění jsou rovnoběžné, mají opačný smysl;
- c) **křížové** – mimoběžné osy proudění spolu svírají v kolmém průmětu úhel 90 °;
- d) **se šikmým prouděním** – mimoběžné osy proudění spolu svírají úhel jiný než 90 °;
- e) **s vícenásobným souproudým, protiproudým nebo křížovým prouděním;**
- f) **s kombinovaným prouděním.**



Obrázek 6.2 – Typy proudění v tepelných výměnících [8]

Neméně důležitým rozdělením, jak lze využít tepelné výměníky v průmyslovém odvětví, je kombinace teplotnosných médií. Je možné kombinovat látky rozdílných fází. Nejčastěji se objevují tyto kombinace: [7]

- **voda – voda;**
- **pára – voda;**
- **pára – vzduch;**
- **pára – olej;**
- **spaliny – voda;**
- **spaliny – pára;**
- **spaliny – vzduch.**

Tepelné výměníky jsou poměrně často využívány nejen v energetickém průmyslu. Proto je dalším z možných rozdělení způsob jejich využití. Nejčastěji nachází své uplatnění jako: [7]

- **ohříváky** – ohřívání média pouze zvyšuje svou teplotu, bez změny fáze;
- **chladiče** – snižování teploty ochlazovaného média, bez změny fáze;
- **přehříváky, přihříváky** – zvýšení teploty syté nebo přehřáté páry;
- **výparníky, odparky** – změna kapalného média na páru;
- **kondenzátory** – srážení teplé páry v kondenzát (kapalná fáze);
- **sušárny** – snížení vlhkosti pevné látky;
- **topná tělesa ústředního topení** – ohřev vzduchu otopným médiem;
- **termické odplynovačky vody** – vylučování plynů z vody parním ohřevem k bodu varu.

Vedle přenosu tepla nebo způsobu využití je klíčová také konstrukce výměníků. Mezi nepoužívanější typy patří výměníky: [7]

- **trubkové;**
- **deskové;**
- **bubnové (kotlové);**
- **svazkové;**
- **šroubové;**
- **žebrové;**
- **vlásenkové.**

6.3 Požadavky na tepelné výměníky

Dosažení vysoké intenzity přenosu tepla s sebou nese řadu požadavků na výměníky, ale také již zmiňované teplotnosné látky. Nejdůležitější je v tomto ohledu volba správného konstrukčního řešení s maximální provozní spolehlivostí. Tu lze zajistit pravidelnou údržbou a minimální poruchovostí s případnou snadnou opravitelností. [7, 32]

Tepelný výměník

Při návrhu je primární využití co nejjednoduššího a nejlehčího zařízení s ohledem na celkovou pořizovací cenu a nízké tlakové ztráty (čerpací práce). Není však snadné zvolit ideální řešení, a proto je ve většině případů zvolen výměník, který je kompromisem všech požadovaných činitelů. Pro případnou intenzifikaci přestupu tepla mohou pomoci tyto způsoby: [7, 32]

- využití žebrování pro zvětšení teplosměnného povrchu (v případě malého α);
 - Je-li $\alpha_1 = \alpha_2$, žebrování je umístěno na obě strany.
 - Je-li $\alpha_1 \neq \alpha_2$, žebrování je umístěno na straně menšího α .
- zvýšení turbulence proudu (v případě malého Reynoldsova čísla);
- zmenšení rozměrů teplosměnných částí a zvětšení jejich počtu;
- vylepšení přenosných technologií – např. těsnění, odvzdušnění.

Teplonosné médium

Také na volbu vhodného teplonosného média je kladen velký důraz, především z pohledu jeho následného využití. Baláš ⁷ uvádí tyto základní požadavky na pracovní média:

- velká měrná tepelná kapacita, popř. měrné výparné teplo;
- vysoký součinitel tepelné vodivosti a přestupu tepla;
- vhodný vztah mezi teplotou varu a tlakem;
- nízká viskozita a s ní související nízké tlakové ztráty při proudění;
- nízká agresivita vedoucí ke korozi zařízení;
- zdravotní nezávadnost;
- dostatečný výskyt v biosféře;
- relativně nízká cena.

S ohledem na všechny tyto požadavky je nejlepší pracovní médium voda a vodní pára. Také voda má však své nevýhody, které není vždy možno akceptovat. Jedná se především o korozi materiálu nebo usazování solí či jiných nežádoucích příměsí na výhřevných plochách. V případě vyšších provozních teplot musí být udržován dostatečný tlak, aby nedocházelo k varu a vzniku páry. [7, 12]

Kromě těchto látek jsou nejčastěji využívány již uvedené spaliny, vzduch, oleje a v případě vysokých teplot (do 900 °C) tekuté kovy. Nevýhodou plyných látek je vyšší objemový průtok z důvodu nízké měrné tepelné kapacity, tepelné vodivosti nebo součinitele přestupu tepla. Opakem je kondenzující nebo sytá, resp. mokrá, pára s vysokým součinitelem přestupu tepla. Volba pracovní látky závisí na parametrech tepelné sítě a její ekonomické stránce, tedy nalezení minimální hodnoty investičních a provozních nákladů. [7, 12]

7 ZEMĚDĚLSKÉ DRUŽSTVO HAŇOVICE

Pro návrh topného systému fotobioreaktoru je v této práci využíváno odpadní teplo z bioplynové stanice, která je součástí Zemědělského družstva Haňovice (ZDHa). Před samotným řešením návrhu je nutné představení nejen zde využívaných technologií, ale také skutečností o této firmě.

Za počátky družstva lze považovat zápis JZD Doubrava do Obchodního rejstříku z 21. března 1962, jenž bylo přímým předchůdcem ZDHa. Svou dnešní majetkoprávní podobu získalo družstvo v Olomouckém kraji (západním směrem od města Litovel) až o 30 let později. V současnosti spadá pod hospodářskou správu ZDHa kromě 15 obcí také část katastrálního území již zmíněné Litovle. Část zemědělského družstva zasahuje také do CHKO Litovelské Pomoraví. [41]

Na obrázku 7.1 je znázorněn areál ZDHa, kde stojí za zmínku především nejefektivnější celky z hlediska finančních a energetických příjmů družstva. Jsou jimi v dolní části obrázku Plasty Mladeč (nižší světle modrá budova) a v horní části obrázku bioplynová stanice a skleníky na produkci cherry rajčat. [41]



Obrázek 7.1 – Zemědělské družstvo Haňovice [41]

Kromě zisku užitečných energií z bioplynové stanice, která zde byla vybudována až v roce 2012, se soustředí ZDHa na řadu dalších odvětví. Patří zde výroba plastových technických profilů a tiskových strun do 3D tiskáren společností Plasty Mladeč či rostlinná a živočišná výroba. Pěstovanými plodinami jsou potravinářská pšenice, řepka nebo kukuřice a vojtěška jako píce pro živočišnou výrobu. Živočišná výroba je rozdělena do dvou částí. První z nich je chov skotu v areálu ZDHa a druhou chov prasat v nedalekém Sobáčově (porodna) a Bílé Lhotě (výkrm). [41]

Kromě firmy Plasty Mladeč je součástí objektu také nejmenovaná soukromá firma (na obrázku 7.1 světle modrá budova v levém spodním rohu). Obě firmy využívají energie z haňovické BPS. [41]

Nejmladší částí objektu ZDHa jsou od roku 2016 skleníky holandského typu, které prakticky po celý rok produkují cherry rajčata odrůdy Angelle. Jedná se o první skleníky tohoto typu na českém území s rozlohou 3 ha. Prvotní myšlenky o jejich výstavbě zde vznikly až na základě nevyužitých přebytků tepelné energie z kogeneračních jednotek bioplynové stanice, což má za příčinu snížení efektivity energetického procesu. Primárním záměrem ZDHa je v této oblasti produkce rajčat s využitím obnovitelných zdrojů bez jakéhokoliv chemického ošetření. Pro závlivku slouží dešťová voda z laguny, která je jímána ze střech skleníků a částečně ze střech v areálu ZD. Tepelná a elektrická energie je do skleníků dodávána z bioplynové stanice. [41, 42]



Obrázek 7.2 – Skleníky holandského typu ZDHa [41]

Svou významnou činností se zemědělské družstvo podílelo již v roce 2016 na zisku ceny Ekologický oskar pro obec Haňovice, která byla odměnou za zlepšení životního prostředí, výměnu veřejného osvětlení, zabránění znečištění odpadních vod a snížení nákladů na dodávku energií. Právě energie jsou dodávány do obecního úřadu či kulturního domu z BPS, jejíž výstavba neměla od první chvíle ze strany obce příliš pozitivních ohlasů. V roce 2020 získalo ZDHa také individuální ocenění v soutěži Ceny Olomouckého kraje, kde v oblasti životního prostředí obdrželo cenu v kategorii Ovzduší – dlouhodobý přínos. [35, 41, 42]

7.1 Bioplynová stanice Haňovice

Vzhledem k poloze BPS Haňovice je poměrně zřetelné, že se jedná o zemědělské zařízení, jehož princip je založen na procesu mokré fermentace. Tato bioplynová stanice má instalovaný elektrický výkon 1000 kW_e a instalovaný tepelný výkon 1100 kW_t. [42]

7.1.1 Technologie BPS Haňovice

Pro bližší zobrazení úseků, ve kterých probíhá celý proces bioplynové stanice od dávkování vstupních surovin až po výrobu elektrické a tepelné energie, slouží obrázek 7.3. Kromě koncové jímky, strojovny s kogeneračními jednotkami a trafostanice jsou zde znázorněny dvě paralelní větve po ose zásobovací nádrží – fermentor – dofermentor, kde dochází k oddělené produkci bioplynu a digestátu. Na obrázku chybí pouze separátor a nádrže na fugát. Tyto části jsou rovněž v areálu ZDH_a. [42]



Obrázek 7.3 – Základní části BPS Haňovice [41]

Před podrobnějším popisem jednotlivých částí BPS Haňovice je vhodné přiblížit potřebné množství surovin, které vstupují do fermentačního procesu. Kvůli nepravidelnému dávkování jednotlivých složek (především senáže) je možné uvést pouze průměrné množství za určité časové období. Za rok 2020 byla průměrným denním vstupem směs ve složení, které je uvedeno v tabulce 2. [42]

Tabulka 2 – Průměrné množství denního vstupu do BPS za rok 2020 [42]

Vstupní substrát	Denní spotřeba
	[t]
Vepřová kejda	37
Hovězí kejda	37
Kukuřice	31
Řepné řízky	10
Senáž	6

Zásobovací jímky

Dávkování vstupních surovin je zajištěno pomocí zásobovacích jímek. V BPS Haňovice jsou celkem 2 nádrže na tuhý substrát a 1 nádrž na tekutou kejdu, která je umístěna v podzemním prostoru. Automaticky posuvné nádrže na tuhý materiál zajišťují rozmělnění, promísení a následnou přepravu směsi do fermentoru šnekovým dopravníkem (viz obrázek 7.4). Tento proces je zcela automatický a regulovaný dle potřeby jednotlivých fermentorů. Nutné je pouze pravidelné plnění zásobovací jímky dle potřeby 1 – 2x denně. Nádrž na tekutý substrát pracuje samostatně a zajišťuje dodávku kejdy do obou větví fermentačního procesu. [42]



Obrázek 7.4 – Zásobovací nádrž se šnekovým dopravníkem BPS Haňovice (foto viz autor)

Fermentační zařízení

V BPS Haňovice jsou pro zajištění anaerobního prostředí využívány celkem 4 zařízení. První v pořadí jsou dva fermentory s průměrem 22 m a pracovním objemem 1970 m³, za nimi následují dva dofermentory s průměrem 23 m a pracovní objemem 2160 m³. Pravidelné promíchávání substrátu je uvnitř fermentoru zajištěno pádlovými míchadly. K vytápění slouží svazky trubek na vnitřní straně stěn. Proces fermentace, od dávkování surovin až po vyčerpání do koncové jímky, trvá v BPS Haňovice přibližně 60 – 65 dní. V uplynulém roce se tato doba mírně prodloužila na průměrných 71 dní. [42]



Obrázek 7.5 – Fermentor a zásobovací nádrž BPS Haňovice [41]

Kalová koncovka

ZDHa využívá digestát, vystupující z fermentoru jako sekundární produkt, v celém rozsahu. Na obrázku 7.6 je znázorněna betonová nádrž s kapacitou 6 000 m³, kam je tato tekutá směs odváděna bezprostředně po fermentačním procesu. [42]



Obrázek 7.6 – Betonová nádrž na digestát BPS Haňovice (foto viz autor)

Z betonové nádrže je digestát později odčerpáván a separátorem rozdělen na separát a fugát. Jde o rozdělení na pevnou a tekutou část především z důvodu snazšího skladování. [42]



Obrázek 7.7 – Separátor BPS Haňovice (foto viz autor)

Zatímco separát je odvážen na hnojiště, fugát je skladován v 6 nádržích v areálu ZDHa o celkovém objemu 8 000 m³ (4 x 1 600 m³ a 2 x 800 m³). V případě naplnění této kapacity má zemědělské družstvo k dispozici také lagunou o objemu 3 300 m³ v nedaleké Bílé Lhotě. [42]



Obrázek 7.8 – Velká a malá nádrž na fugát BPS Haňovice (foto viz autor)

Bioplynová koncovka

Ve fermentorech je produkován bioplyn s vysokým obsahem síry, což je nežádoucí prvek s ohledem na následné využití. Z plynojemu fermentorů je proto odváděn do dofermentorů, kde dochází k promísení s méně agresivní vyprodukovanou směsí. Plynojemy všech fermentačních nádrží jsou z elastické gumové fólie (viz obrázek 7.5). [42]

Složení bioplynu není ani na výstupu z dofermentoru optimální. Sulfan je ze směsi odstraňován v odsiřovací jednotce s využitím aktivního uhlí (viz obrázek 7.9). Do těchto zařízení, které má BPS pro každou fermentační větev zvlášť, je bioplyn přiváděn z dofermentoru pomocí dmychadel. [42]



Obrázek 7.9 – Odsiřovací zařízení BPS Haňovice (foto viz autor)

Do roku 2019 spotřebovávala BPS ve spalovacích motorech se zápalným paprskem kromě bioplynu také přibližně 115 tisíc litrů LTO ročně. Z důvodu přísnějších emisních předpisů musely být tyto stroje nahrazeny jinými. Nyní jsou součástí kogeneračních jednotek plynové zážehové motory. Jde tedy o poměrně značnou ekologickou a také ekonomickou úsporu. Ve strojovně jsou umístěny společně s rozvody tepla celkem 4 KGJ typu SCHNELL ES 2507. [42]



Obrázek 7.10 – Kogenerační jednotka SCHNELL ES 2507 v BPS Haňovice (foto viz autor)

Pohonem těchto zařízení je bioplynový motor s označením OC 13, jehož parametry jsou uvedeny v následující tabulce. [42]

Tabulka 3 – Technický list bioplynového motoru OC 13 [42]

BIOPLYNOVÝ MOTOR	
Typ	OC 13
Výkon elektrický	250 kW
Výkon tepelný	275 kW
Účinnost elektrická	40,4 %
Délka	1,45 m
Šířka	0,9 m
Výška	1,23 m
Hmotnost (bez náplně)	1 050 kg
Typ konstrukce	6R 130 x 160
Zdvihový objem	12,7 l
Počet válců	6 v řadě
Otáčky	1 500 ot./min.
EMISE	
CO	< 650 mg/m ³
NO _x	< 500 mg/m ³
SPOTŘEBA PALIVA	
Spotřeba bioplynu s 50 % CH ₄	123,8 m ³ /h

7.1.2 Využití tepelné energie v BPS Haňovice

Na základě podkladů z BPS Haňovice je nutné zjistit, jaké množství tepelné energie je možné využít pro navrhovaný topný systém fotobioreaktoru. V tabulce 4 je přehled spotřeby tepelné energie za rok 2020 v areálu ZDHa, ale i mimo něj (zaokrouhleno na celá čísla). Spotřeba tepelné energie je rozdělena v systému BPS Haňovice do třech větví: skleníky, fermentory a areál ZD + cizí spotřeba (firmy, obecní prostory). Ke spotřebě v jednotlivých větvích je potřeba přičíst také ztráty. Nejsou zde započteny ztráty mimo objekt ZDHa, jelikož je poměrně obtížné jejich zaznamenání. [42]

Tabulka 4 – Spotřeba tepelné energie z BPS Haňovice v roce 2020 [44]

Datum	Skleníky	Fermentory	Spotřeba ZD	Spotřeba cizí	Ztráty	Celková spotřeba
	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]
Leden	1 594	684	177	109	114	2 678
Únor	1 508	597	162	96	105	2 468
Březen	1 706	621	143	88	108	2 666
Duben	1 725	610	111	66	98	2 610
Květen	1 853	548	131	35	40	2 607
Červen	1 706	431	26	0	116	2 279
Červenec	1 691	417	258	0	80	2 446
Srpen	1 101	399	193	0	90	1 783
Září	1 244	385	156	46	90	1 921
Říjen	1 291	459	199	50	82	2 081
Listopad	1 384	564	128	75	91	2 242
Prosinec	1 373	593	187	95	82	2 330
Celkem	18 176	6 309	1 871	658	1 095	28 109

Spotřebovaná tepelná energie je naměřena v jednotlivých místech spotřeby. Pro zjištění, zda může BPS Haňovice vytápět ze své produkce také fotobioreaktory, je potřeba vypočíst množství celkové vyprodukované tepelné energie.

Teoretické roční množství vyprodukované tepelné energie

Pro zjištění vyprodukované tepelné energie je potřeba nejprve stanovit teoretické množství, které vychází z předpokladu nepřetržitého chodu všech čtyř kogeneračních jednotek. Jelikož byl rok 2020 přestupný, musí být ve výpočtu počítáno s časovým intervalem 366 dní.

$$Q_{t;t} = P_{KGJ} \cdot \tau \cdot z \text{ [kWh]} \quad (8.1)$$

$$Q_{t;t} = 275 \cdot 8\,784 \cdot 4 = 9\,662\,400 \text{ kWh}$$

Kde $Q_{t;t}$ je teoretické roční množství vyprodukované tepelné energie [kWh];
 P_{KGJ} je tepelný výkon kogenerační jednotky [kW];
 τ je počet hodin ve stanoveném časovém intervalu [h];
 z je počet kogeneračních jednotek [–].

Skutečné roční množství vyprodukované tepelné energie

Ve skutečnosti pracují kogenerační jednotky s menším využitím. Důvodem jsou např. běžné servisní kontroly, opravy nebo odstávky z jakéhokoliv jiného důvodu. Za uplynulý rok bylo naměřeno procentuální využití motorů 98 %. [42]

$$Q_{t;s} = Q_{t;t} \cdot \eta \text{ [kWh]} \quad (8.2)$$

$$Q_{t;s} = 9\,662\,400 \cdot 0,98 = \mathbf{9\,469\,152 \text{ kWh}}$$

Kde $Q_{t;s}$ je skutečné roční množství vyprodukované tepelné energie [kWh];
 η je procentuální využití chodu motorů KGJ [–].

Pro následné výpočty vyprodukované tepelné energie v jednotlivých měsících je nezbytný přepočtení hodnoty dle převodu 1 kWh = 3,6 MJ:

$$9\,469\,152 \cdot 3,6 = \mathbf{34\,088\,947,2 \text{ MJ} \doteq 34\,089 \text{ GJ}}$$

Skutečné množství vyprodukované tepelné energie v jednotlivých měsících

Vzhledem k rozdílnému počtu dní v jednotlivých měsících je nutný přepočtení skutečné produkce na časové období 29, 30 a 31 dní. Pro kompletní řešení je uveden také výpočet pro měsíc únor v nepřestupném roce. Výpočet je proveden dle vztahu:

$$Q_{t;\tau} = Q_{t;t} \cdot \eta = P_{KGJ} \cdot \tau \cdot z \cdot \eta \text{ [kWh]} \quad (8.3)$$

Kde $Q_{t;\tau}$ je skutečné měsíční množství vyprodukované tepelné energie [kWh].

Pro měsíc s 28 dny:

$$Q_{t;28} = Q_{t;t} \cdot \eta = P_{KGJ} \cdot \tau \cdot z \cdot \eta \text{ [kWh]}$$

$$Q_{t;28} = 275 \cdot 672 \cdot 4 \cdot 0,98 = \mathbf{724\,416 \text{ kWh} \doteq 2\,608 \text{ GJ}}$$

Pro měsíc s 29 dny:

$$Q_{t;29} = Q_{t;t} \cdot \eta = P_{KGJ} \cdot \tau \cdot z \cdot \eta \text{ [kWh]}$$

$$Q_{t;29} = 275 \cdot 696 \cdot 4 \cdot 0,98 = \mathbf{750\,288 \text{ kWh} \doteq 2\,701 \text{ GJ}}$$

Pro měsíce s 30 dny:

$$Q_{t;30} = Q_{t;t} \cdot \eta = P_{KGJ} \cdot \tau \cdot z \cdot \eta \text{ [kWh]}$$

$$Q_{t;30} = 275 \cdot 720 \cdot 4 \cdot 0,98 = \mathbf{776\,160 \text{ kWh} \doteq 2\,794 \text{ GJ}}$$

Pro měsíce s 31 dny:

$$Q_{t;31} = Q_{t;t} \cdot \eta = P_{KGJ} \cdot \tau \cdot z \cdot \eta \text{ [kWh]}$$

$$Q_{t;31} = 275 \cdot 744 \cdot 4 \cdot 0,98 = \mathbf{802\,032 \text{ kWh} \doteq 2\,887 \text{ GJ}}$$

Z předchozích výpočtů vyplývá, že po celý rok 2020 měla BPS Haňovice přebytek tepelné energie (viz tabulka 5). Zásahu na tom má především bezporuchový chod kogeneračních jednotek a odstávky provozu pouze při pravidelné údržbě. Pro případné zvýšení efektivity a využití vyprodukované tepelné energie je možno provést diagnostiku příčin tepelných ztrát, popřípadě instalovat izolaci či jiné opatření pro jejich snížení.

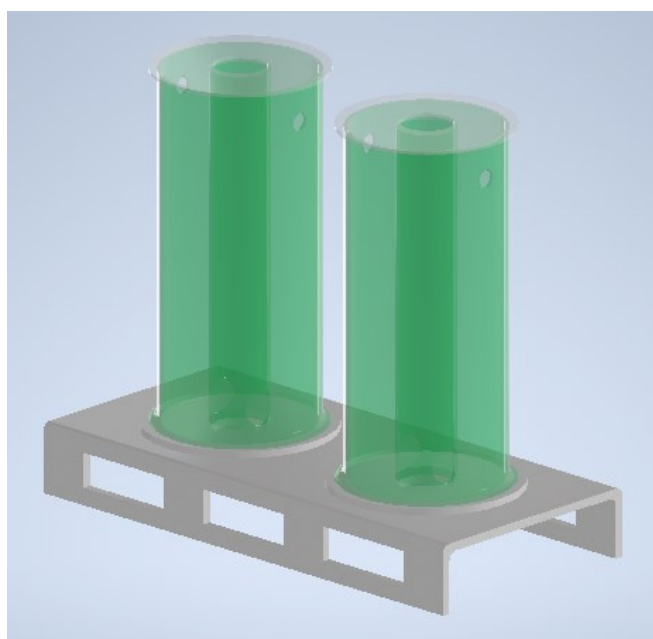
Tabulka 5 – Nevyužitý přebytek tepelné energie v BPS Haňovice v roce 2020

Datum	Produkce	Spotřeba	Přebytek	Přebytek
	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[%]
Leden	2 887	2 678	209	7,24
Únor	2 701	2 468	233	8,63
Březen	2 887	2 666	221	7,66
Duben	2 794	2 610	184	6,59
Květen	2 887	2 607	280	9,70
Červen	2 794	2 279	515	18,43
Červenec	2 887	2 446	441	15,28
Srpen	2 887	1 783	1 104	38,24
Září	2 794	1 921	873	31,25
Říjen	2 887	2 081	806	27,92
Listopad	2 794	2 242	552	19,76
Prosinec	2 887	2 330	557	19,29

Přebytkem je množství tepelné energie, které není využíváno a snižuje tak efektivitu produkce. V případě nových řešení pro využití tohoto přebytku je v první řadě potřeba brát ohled na již zmíněné větve, kam tepelná energie proudí primárně. Problém potom může nastat především v zimních a jarních měsících, kdy je k dispozici pouze méně než 10 % z celkové produkce. Množství potřebné tepelné energie u topného systému fotobioreaktoru je vypočteno v následující kapitole.

8 NÁVRH TOPNÉHO SYSTÉMU FOTOBIOREAKTORU

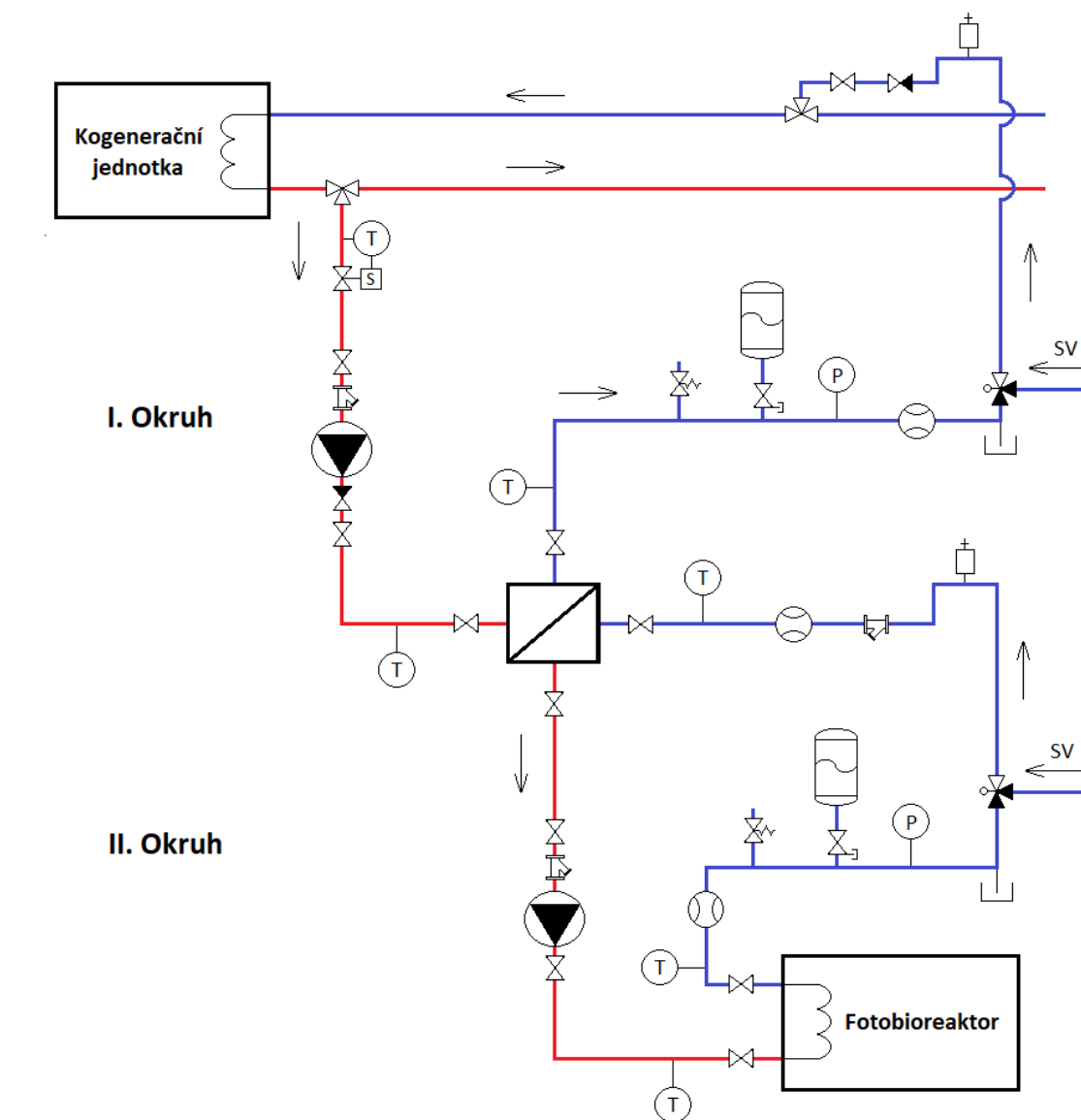
Pěstování řas ve fotobioreaktoru vyžaduje konstantní kultivační teplotu v rozmezí 25 – 35 °C v závislosti na druhu kultivovaného kmene. Vzhledem ke klimatickým podmínkám v České republice připadá v úvahu celoroční kultivace řas pouze v uzavřených fotobioreaktorech. Navrhuji proto vlastní konstrukční řešení, kde jsou na podstavci o rozměrech 1,5 x 0,6 m umístěny 2 válcové FBR s možností instalace světelného zdroje také uvnitř válce (viz obrázek 8.1). Některé světelné zdroje mohou sloužit také jako zdroj tepelné energie a pomáhají tak k udržení konstantní teploty média uvnitř nádrže. Výhodou tohoto návrhu je snadná instalace a v případě využití většího množství kultivačního média také možné sériové či paralelní propojení vícero takových konstrukcí. Součástí bakalářské práce jsou výrobní výkresy fotobioreaktoru, víka na fotobioreaktory i podstavce (viz přílohy A, B, C).



Obrázek 8.1 – Podstavec s válcovými fotobioreaktory

Zdrojem tepla pro vytápění FBR mohou být mimo jiné kogenerační jednotky, které pracují v nepřetržitém provozu, respektive motor a jeho chladicí okruh v tomto energetickém zařízení. Tepelný výměník v KGJ ohřívá pracovní médium (vodu) na výsledných 80 °C. Právě tato teplota je výchozí pro vypracování návrhu topného systému. Dojde-li k přímému kontaktu řasy s trubkou či jinou teplosměnnou plochou o teplotě okolo 80 °C, nastane degradace či úplný zánik aktivní části kultivovaného kmene.

Navrhuji proto takový topný systém, který zajistí stálý přívod tepelné energie až do výměňkové nádrže s kultivačním médiem. Systém je složen ze dvou okruhů, které spojuje deskový výměník. K fotobioreaktoru je tedy přiváděno ohřívací médium (také voda) o nižší teplotě. V těsné blízkosti FBR je umístěn druhý tepelný výměník, jehož návrhu je věnována následující kapitola. Na obrázku 8.2 je znázorněno schéma návrhu topného systému s využitím tepelné energie z KGJ. Nedílnou součástí tepelné soustavy jsou kromě výměníků také další zařízení, která zajišťují správný a bezpečný chod systému. Patří zde např. oběhové čerpadlo, expanzní nádoba, armatury či měřicí zařízení.



Hlavní části topného systému

	Tepelný výměník
	Tepelný výměník
	Oběhové čerpadlo
	Expanzní nádoba

Armatury

	Kulový ventil		Třícestný ventil
	Pojistný ventil		Dopouštěcí ventil
	Kulový ventil s vypouštěním		Vypouštěcí ventil
	Zpětný ventil		Filtr
	Solenoidový ventil s termostatem		Automatický odvzdušňovací ventil

Měřicí zařízení

	Teploměr
	Manometr
	Průtokoměr

Označení pracovního média

SV	Studená voda
	Studená větev
	Teplá větev

Obrázek 8.2 – Schéma topného systému fotobioreaktoru

8.1 Hlavní části topného systému

Dva pracovní okruhy jsou se zdrojem (KGJ) a spotřebičem (FBR) tepelné energie propojeny celkem třemi tepelnými výměníky. První výměník je součástí KGJ, odkud získáme již zmíněné médium o teplotě 80 °C. Na zpáteční vratné větvi je zpět do tohoto výměníku přiváděno médium o teplotě 40 °C, která je dosažena přiváděným médiem ze všech topných systémů v areálu ZDHa, popřípadě promísením se studenou vodou ze zásobníku.

Deskový tepelný výměník

Pro přenos tepelné energie mezi I. a II. okruhem navrhují deskový tepelný výměník. Parametrem, ze kterého lze vycházet, je v tomto případě teplota ohřívací vody na vstupu 80 °C a teplota ohřívání vody na vstupu 20 °C. Dalším limitujícím kritériem je teplota ohřívání média na výstupu z výměníku. Kvůli degradaci kultivované řasy při vysokých teplotách je potřeba do II. okruhu odvádět médium s maximální teplotou 40 °C. Teplotu ohřívacího média je potřeba alespoň přiblížit teplotě na vstupu do výměníku v KGJ. Jako dostačující volím teplotu 50 °C.

Model výměníku:	B5, E5	x 20
Výkon:	20	kW
Teplá voda vstup T1:	80	°C
Teplá voda výstup T2:	50	°C
Studená voda vstup T3:	20	°C
Studená voda výstup T4:	40	°C
Průtok teplá a studená:	0,57; 0,86	m ³ /h
Tlakové ztráty teplá a studená:	3; 4	kPa

Obrázek 8.3 – Online výpočet deskového výměníku [36]

Na základě online výpočtu společnosti SWEP (viz obrázek 8.3) navrhují nerezový deskový výměník SWEP E5Tx20 (viz obrázek 8.4). Aby nedocházelo k velkým tepelným ztrátám, je vhodné jako izolaci využít např. EPP 5Tx20 z expandovaného polypropylenu (PP) nebo Ref 5Tx40 z NBR pěny. [36]



Deskový výměník E5Tx20	
Výkon	2 až 20 kW
Max. průtok	2,5 m ³ /h
Testovací tlak	20 bar
Pájecí materiál	Měď
Připojení	4x 3/4" ISO G vnější
Počet desek	20
Rozměry	192 x 73 x 49 mm
Hmotnost	1,3 kg

Obrázek 8.4 – Deskový výměník SWEP E5Tx20 [36]

S volbou vhodného deskového výměníku je nezbytné také zjistit, zda je skutečný přebytek vyprodukované tepelné energie v BPS Haňovice dostačující pro uskutečnění návrhu topného systému. Ze zvoleného výměníku E5Tx20 s výkonem 20 kW lze stanovit tepelnou energii, kterou spotřebuje v jednotlivých měsících. Spotřebovanou tepelnou energii lze vyjádřit vztahem:

$$Q_{v;\tau} = P_{DV} \cdot \tau [kWh] \quad (9.1)$$

Kde $Q_{v;\tau}$ je měsíční spotřeba tepelné energie pro návrh TS [kWh];
 P_{DV} je výkon deskového výměníku [kW].

Pro měsíc s 28 dny:

$$Q_{v;672} = P_{DV} \cdot \tau [kWh]$$

$$Q_{v;672} = 20 \cdot 672 = \mathbf{13\,440\,kWh} \doteq \mathbf{48\,GJ}$$

Pro měsíc s 29 dny:

$$Q_{v;696} = P_{DV} \cdot \tau [kWh]$$

$$Q_{v;696} = 20 \cdot 696 = \mathbf{13\,920\,kWh} \doteq \mathbf{50\,GJ}$$

Pro měsíce s 30 dny:

$$Q_{v;720} = P_{DV} \cdot \tau [kWh]$$

$$Q_{v;720} = 20 \cdot 720 = \mathbf{14\,400\,kWh} \doteq \mathbf{52\,GJ}$$

Pro měsíce s 31 dny:

$$Q_{v;744} = P_{DV} \cdot \tau [kWh]$$

$$Q_{v;744} = 20 \cdot 744 = \mathbf{14\,880\,kWh} \doteq \mathbf{54\,GJ}$$

Porovnáním vyprodukovaného přebytku tepelné energie z BPS Haňovice, který byl vypočítán již v kapitole 7, a požadované tepelné energie pro topný systém je možno zjistit, zda je tento návrh realizovatelný. Porovnání je uvedeno v tabulce 6.

Tabulka 6 – Využití přebytku tepelné energie návrhem topného systému (TS)

Datum	Přebytek	Spotřeba v TS	Spotřeba v TS	Datum	Přebytek	Spotřeba v TS	Spotřeba v TS
	[GJ]	[GJ]	[%]		[GJ]	[GJ]	[%]
Leden	209	54	25,84	Červenec	441	54	12,24
Únor	233	50	21,46	Srpen	1 104	54	4,89
Březen	221	54	24,43	Září	873	52	5,96
Duben	184	52	28,26	Říjen	806	54	6,70
Květen	280	54	19,29	Listopad	552	52	9,42
Červen	515	52	10,10	Prosinec	557	54	9,69

Z tabulky vyplývá, že navrhovaný topný systém s deskovým výměníkem je realizovatelný a spotřebuje pouze menší část z přebytků tepelné energie. Výpočet je pouze orientační, jelikož zde nejsou započítány tepelné ztráty, které v topném systému vznikají.

Oběhové čerpadlo

Proudění pracovního média v okruhu zajišťuje oběhové čerpadlo, které je nezbytnou součástí topných či chladících soustav. V minulosti byl kladen důraz na umístění čerpadel na vratnou větev kvůli poškození vnitřního systému horkou vodou. Dnes jsou již čerpadla vyráběna z materiálu, který velmi snadno odolává i vodě s vyšší teplotou a není tak problém s umístěním na teplou větev okruhu.

Oběhové čerpadlo je potřeba zvolit tak, aby bylo úsporné a ideálně bezporuchové s dlouhou životností. Z technického hlediska je při volbě vhodného čerpadla dbát na tyto parametry: [37]

- max. dopravní výška;
- max. průtok;
- max. provozní tlak;
- max. teplota média;
- vestavná délka;
- připojení k potrubí;
- způsob regulace výkonu;
- energetická náročnost;
- napájení;
- hlučnost čerpadla při provozu.

Na trhu se pohybuje již velké množství firem, které nabízí oběhová čerpadla různých parametrů. Jako nejvýznamnější lze uvést např. Wilo, DAB, IBO či Grundfos.

Při návrhu topného systému fotobioreaktoru je potřeba navrhnout oběhová čerpadla pro oba okruhy. V obou případech není třeba dopravovat médium do vyšších míst, a proto může být limitující především maximální průtok nebo u prvního okruhu teplota přiváděného média 80 °C. Z tohoto důvodu navrhuji využít oběhová čerpadla Grundfos ALPHA1 L 25-60 180.

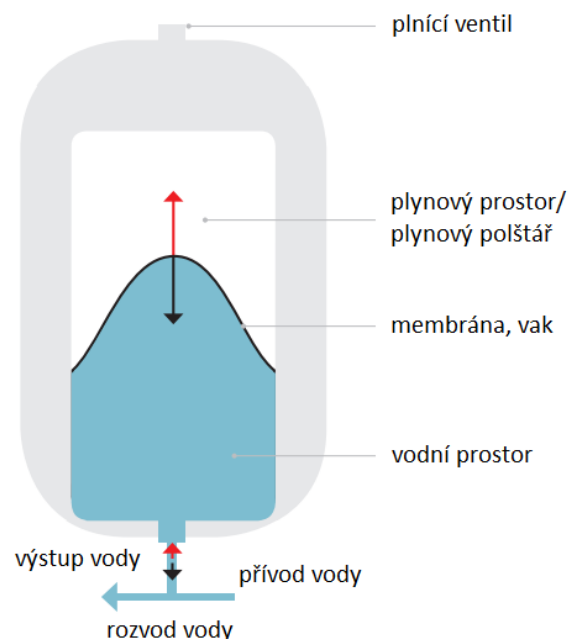


Obrázek 8.5 – Oběhové čerpadlo Grundfos ALPHA1 L 25-60 180 [43]

Expanzní nádoba

Další z hlavních částí, která nesmí chybět v topné soustavě, je expanzní nádoba. Tato nádoba slouží pro kompenzaci rozdílu objemu topné vody (vlivem měnících se teplot) a tím zajišťuje požadovaný přetlak v soustavě.

V současnosti jsou nejčastěji využívány především uzavřené ocelové expanzní nádoby válcového tvaru. Vnitřní prostor nádoby je složen ze dvou částí oddělených membránou či vyměnitelným vakem. Těmito částmi jsou plynový a vodní prostor (viz obrázek 8.6). Plynový prostor je při zvýšení objemu vody v soustavě stlačován, což znázorňuje červená šipka. V opačném případě dochází k jeho uvolnění a voda se vrací zpět do pracovního okruhu, tedy ve směru černé šipky. Materiál rozdělující membrány či vyměnitelného vaku je vysoce nepropustný Butyl nebo EPDM. Voda, která působí na membránu, by neměla přesahovat teplotu 70 °C. Pro umístění expanzní nádoby je proto bezpečnější studená větev obou okruhů. [39]



Obrázek 8.6 – Princip expanzní nádoby [39]

Při výběru vhodné expanzní nádoby je potřeba zjistit její požadovaný objem. Ten lze zjistit například dle vztahu, který uvádí firma Regulus: [38]

$$V_e = \frac{1,3 \cdot V \cdot \Delta V \cdot (p_{h,dov} + 1)}{(p_{h,dov} - p_{h,min})} [l] \quad (9.2)$$

kde V_e je objem expanzní nádoby [l];
 V je objem topného okruhu [l];
 ΔV je poměrné zvětšení objemu vody z 10 °C na max. teplotu [–];
 $p_{h,dov}$ je maximální provozní tlak v soustavě [bar];
 $p_{h,min}$ je minimální provozní tlak v soustavě [bar].

Na základě výpočtu objemu již není problém vybrat vhodnou expanzní nádobu, která by byla dostatečná pro jednotlivý okruh. Kritériem pro výběr může být kromě objemu také maximální provozní tlak, připojení k potrubí, teplota pracovního média nebo rozměry nádoby v závislosti na možnostech v konkrétním případě využití.

Stejně jako u oběhových čerpadel je nabídka na trhu poměrně široká. Již zmíněná firma Regulus nabízí ve svém katalogu produktů expanzní nádoby Aquafill s objemem od 5 l až po 700 l. Jako další lze uvést nádoby od společností Reflex nebo Flamco (pod označením Flexcon).

8.2 Armatury topného systému

Kromě již zmíněných hlavních částí je do topného systému nutné umístit také armatury zajišťující plynulý a bezpečný chod. Vzhledem k odlišným činnostem jednotlivých částí je potřeba alespoň krátké přiblížení těchto prvků. U jednotlivých prvků je uveden také vhodný příklad k využití.

Kulový ventil

Nejčastěji objevující se armaturou v obou okruzích je kulový ventil, který slouží k regulaci, popřípadě úplnému uzavření průtoku proudícího média. Princip kulového ventilu spočívá v pootočení kulového prvku s otvorem uvnitř tělesa. Ovládání kohoutu je zajištěno pákou nebo tzv. motýlkem. Výběr těchto ventilů závisí na jmenovitém průměru potrubí a max. provozním tlaku v okruhu.



Obrázek 8.7 – Kulový ventil [40]

Trojcestný ventil

Propojení topného systému fotobioreaktoru s okruhem, který již odvádí tepelnou energii z KGJ zajišťuje trojcestný ventil. Přívodem média do okruhu plní trojcestný ventil roli rozdělovací a v případě přívodu zpět do existujícího okruhu má funkci směšovací. Tento prvek lze ovládat ručně ale i automaticky.

Pro topný systém navrhují trojcestný ventil HERZ 4037, který je možno zapojit pro obě potřebné funkce (viz obrázek 8.8). Tento ventil může pracovat s médiem při max. provozním tlaku 16 bar o teplotě do 130 °C. Je vyráběn v rozměrech DN 15 až DN 50. [44]



Obrázek 8.8 – Trojcestný ventil HERZ [44]

Pojistný ventil

Jedním z bezpečnostních prvků topného systému je pojistný ventil. V případě, že dojde ke zvětšení tlaku v systému nad požadovanou mez, ventil se samočinně otevře a vypustí takové množství vody, aby došlo k poklesu tlaku zpět pod tuto mez. Poté se ventil uzavře a plní svou funkci dále.

Pojistné ventily jsou umístěny poblíž expanzní větve obou okruhů. Navrhují využít pojistný ventil CALEFFI – 1/2" – 6 bar pro maximální provozní teplotu média 120 °C. [45]



Obrázek 8.9 – Pojistný ventil CALEFFI [45]

Dopouštěcí ventil

Dojde-li v soustavě k poklesu tlaku pod určitou mez, je potřeba médium do soustavy doplnit. K tomu slouží nejčastěji automatický dopouštěcí ventil. V návrhu topného systému jsou tyto ventily umístěny na vratných větvích, kde přivádí studenou vodu ze společného zásobníku. Vhodný je pro tyto potřeby automatický dopouštěcí ventil F.A.R.G. 403 M PN 15 T_{\max} 80 °C s manometrem. Dopouštěcí tlak je nastavitelný v rozmezí 0,2 – 7 bar. [46]

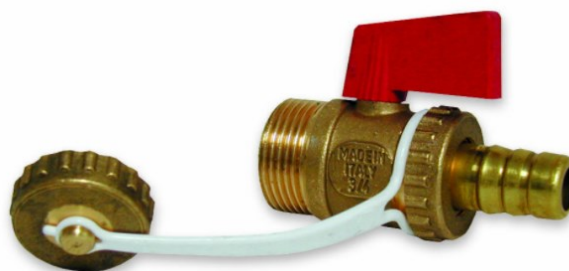


Obrázek 8.10 – Dopouštěcí ventil F.A.R.G. [46]

Ventily pro vypouštění média

Důležitým prvkem topného systému jsou také ventily pro vypouštění pracovního média. Tyto armatury jsou umístěny v těsné blízkosti expanzní nádoby a v nejnižším bodě okruhů.

Opatřením okruhů ventilem pro expanzní nádobu je zajištěn její snadný servis, při kterém není potřeba vypouštění média v soustavě. Výběr těchto ventilů závisí na připojení k expanzní nádobě. Pro vypouštění vody ze systému navrhuji vypouštěcí ventil IVAR.EURO M pro maximální provozní tlak PN 10 při teplotě 90 °C. [45]



Obrázek 8.11 – Vypouštěcí ventil IVAR [45]

Zpětný ventil

Mezi bezpečnostní armatury se řadí také zpětný ventil. Dojde-li k tlaku proti směru proudu, clona je zatlačena na těsnící sedlo a uzavře průtok.

Zpětný ventil je na teplé větvi I. okruhu instalován za oběhovým čerpadlem kvůli tlakovým ztrátám, které zde vznikají. Navrhuji využít kontrolovatelný zpětný ventil IVAR.CIM 33 CREA. Tento ventil je možno využít v soustavách s maximálním provozním tlakem PN 16 a teplotou v rozmezí –10 °C až 95 °C. [45]



Obrázek 8.12 – Zpětný ventil IVAR [45]

Filtr

Pro zachycení nežádoucích nečistot v potrubí topného systému slouží filtry. Filtraci zajišťuje nerezové sítko, popřípadě magnet uvnitř této armatury. Maximální efektivitu filtrace lze zajistit filtrem ve vodorovné poloze s pouzdrům směrem dolů (viz obrázek 8.13).

V návrhu jsou filtry umístěny před oběhovými čerpadly pro zabránění jejich poškození. Navrhuji využít závitový filtr Giacomini R74A pro maximální provozní tlak PN 30 při teplotě do 110 °C. [47]



Obrázek 8.13 – Filtr Giacomini [47]

Automatický odvzdušňovací ventil

Voda v topné soustavě může pojmout vzduch či jiné plyny (např. při dopouštění). Ty vytváří bubliny, které teplo nevedou a je tedy potřeba jejich odstranění. Právě k tomu slouží automatický odvzdušňovací ventil. Princip je založen na pohybu plováku uvnitř ventilu. Dojde-li k nahromadění vzduchových bublin v jeho těle, plovák poklesne a uvolní odvzdušňovací ventil.

Pro správnou činnost ventilu je nutné umístění v nejvyšším bodě topného okruhu. Navrhuji využít autom. odvzdušňovací ventil IVAR.MINICAL 5020 s polypropylenovým plovákem pro maximální PN 10 a provozní teplotu do 120 °C. [45]



Obrázek 8.14 – Odvzdušňovací ventil IVAR [45]

Solenoidový ventil s termostatem

Bezpečnostním prvkem topného systému je také solenoidový ventil s termostatem. V případě, že dojde k přívodu pracovního média o teplotě vyšší, než je požadovaných 80 °C, dojde k uzavření ventilu a odstavení přívodu teplotního média do topné soustavy. Tento problém může nastat především při poruše v KGJ.

Vhodným typem je např. elektromagnetický ventil na vodu TORK T-GP, který v závislosti na zvoleném DN může pracovat s vodou o teplotě do 130 °C při maximálním tlakem 16 bar. [48]



Obrázek 8.15 – Elektromag. ventil TORK [48]

8.3 Měřicí zařízení topného systému

Zajištění správného chodu topného systému je pevně spojeno také s měřením dílčích parametrů pracovního média. Primární je v tomto ohledu měření teploty, tlaku a průtoku. Měření lze provádět vícero způsoby a jsou tomu přizpůsobena také jednotlivá měřidla. Pro topný systém navrhuji zvolit měřidla pracující na stejném principu pro případný servis.

Teploměr

Měření teploty proudícího média zajišťují teploměry, které lze rozdělit dle principu měření na kontaktní a bezkontaktní. U topných systémů se nejčastěji využívají teploměry kontaktní.

V návrhu topného systému jsou teploměry umístěny v blízkosti tepelných výměníků, kde je nutné měření teploty pracovního média pro zajištění správného přenosu tepelné energie. Navrhuji využít radiální teploměry IVAR.TM 120 R, se kterými lze měřit médium s teplotou do 120 °C. [45]



Obrázek 8.16 – Teploměr IVAR [45]

Manometr

Plynulý chod topné soustavy je spojen také s tlakem pracovních látek. Manometry mohou mít funkci kontrolní nebo regulační, jako je to v případě automatického dopouštěcího ventilu. Na základě signálu z manometru je do okruhu dopouštěno pracovní médium.

V návrhu topného systému jsou tedy celkem čtyři manometry. Dva jsou součástí dopouštěcích ventilů a dva za expanzní větví obou okruhů, kde plní roli kontrolního měřidla. Navrhuji využít axiální manometry IVAR.MA 50 pro maximální tlak vody do 10 bar. [45]



Obrázek 8.17 – Manometr IVAR [45]

Průtokoměr

Posledním parametrem, který je v topném systému měřen, je průtok vody. K tomuto účelu je možno využít např. průtokoměr s plovákem. Princip měření je založen na unášení plováku proti zpětné pružině. Číselná hodnota na spodní hraně plováku poté odpovídá velikost průtoku média.

Navrhuji využít průtokoměr od firmy Taconova pro max. provozní tlak PN 10 při teplotě do 100 °C. [49]



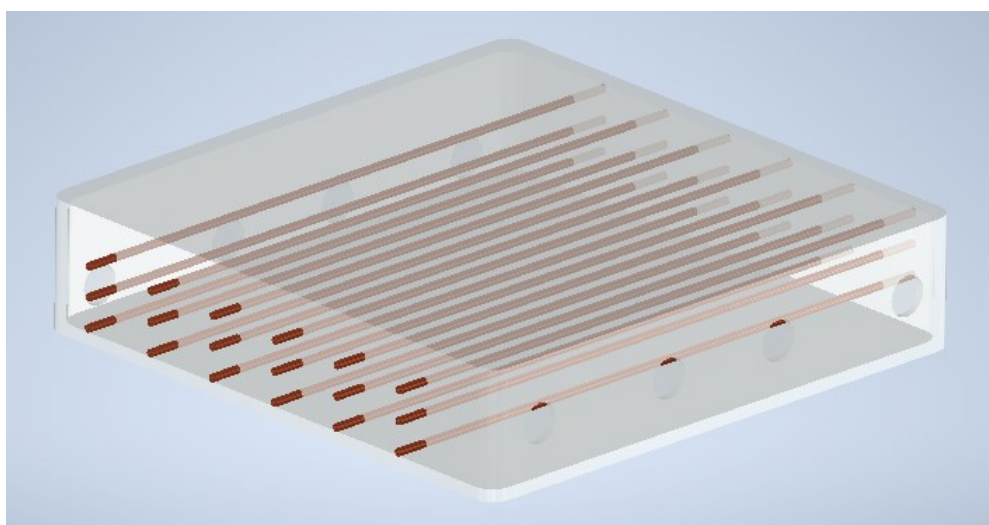
Obrázek 8.18 – Průtokoměr Taconova [49]

9 VÝPOČET VÝMĚNÍKU PRO VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA

Navrhovaný topný systém má za úkol přenos tepelné energie až do spotřebiče, kde dojde k jejímu využití. Tím je na konci II. okruhu rekuperační tepelný výměník v podobě uzavřené nádrže o objemu 548 litrů (viz obrázek 9.1). Objem je dostačující pro přívod kultivačního média do dvou již zmíněných paralelně zapojených konstrukcí s válcovými fotobioreaktory. Výrobní výkresy výměňkové nádrže a měděných trubek pro přívod ohřívacího média jsou součástí této bakalářské práce (Příloha D, E).

Do nádrže je přiváděno kultivační médium o teplotě 20 °C a rychlosti 0,5 m·s⁻¹ čtyřmi otvory o průměru 100 mm. Zde pojme část tepelné energie a na protější straně nádrže vychází níže položenými otvory do FBR. Pro zajištění jedné z kultivačních podmínek je nutné odvádět z nádrže médium o teplotě 30 °C.

Součástí rekuperačního výměníku musí být kromě ohřívávaného média také médium ohřívací. Aby nedošlo k degradaci kultivované řasy promísením těchto látek, je již zahřáté médium z II. okruhu topného systému přiváděno do nádrže ve svazku 18 měděných trubek o Ø 20x1. Délka trubek uvnitř nádrže je 1,4 m. Jelikož nejsou ve výpočtech započítány tlakové ani tepelné ztráty, je možno uvést jako přiváděné ohřívací médium vodu o teplotě 40 °C a průtokem 0,86 m³·h⁻¹. Výpočetní vztahy pro tepelnou konvekci a tepelný tok vychází ze vztahů viz Příloha F – Vztahy pro výpočet tepelného výměníku [50].



Obrázek 9.1 – Výměňková nádrž

Během všech výpočtů je nutné zachovat standartní značení dílčích hodnot. Veličiny, které patří k ohřívacímu médiu jsou označeny indexem 1, veličiny patřící ohřívávanému médiu potom indexem 2.

Souhrn vstupních hodnot

Ohřívací médium

Objemový průtok: $Q_1 = 0,86 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Teplota na vstupu: $t'_1 = 40 \text{ °C}$

Ohřívávané médium

Rychlost proudění: $v_2 = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Teplota na vstupu: $t'_2 = 20 \text{ °C}$

Teplota na výstupu: $t''_2 = 30 \text{ °C}$

Rozměry měděných trubek uvnitř výměníku: Ø 20x1 – 1400 mm

9.1 Vynucená konvekce při proudění v trubkách

Z objemového průtoku vody $Q_1 = 0,86 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a rozměrů měděných trubek $\emptyset 20 \times 1$ lze zjistit rychlost proudění ohřívacího média. Tu lze vypočítat ze vztahu:

$$v_1 = \frac{Q_1}{S_{TR}} = \frac{Q_1}{\pi \cdot r^2} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10.1)$$

Kde v_1 je rychlost proudění ohřívacího média $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$;
 Q_1 je objemový průtok ohřívacího média $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$;
 S_{TR} je vnitřní průřez trubky $[\text{m}^2]$;
 π je Ludolfovo číslo (3,1416) $[-]$;
 r je vnitřní poloměr trubky $[\text{m}]$.

$$v_1 = \frac{Q_1}{S_{TR}} = \frac{Q_1}{\pi \cdot r^2} = \frac{2,38 \cdot 10^{-4}}{3,1416 \cdot 0,009^2} = 0,935 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Proudění vody v II. okruhu je zapříčiněno činností oběhového čerpadla. Je tedy nutno vycházet ze vztahů pro vynucenou konvekci při proudění v trubkách. Nejprve je potřeba zjistit, o jaký typ proudění se jedná pomocí Reynoldsova čísla. Vztah pro Reynoldsovo kritérium je:

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu} [-] \quad (10.2)$$

Kde Re je Reynoldsovo číslo $[-]$;
 v je rychlost proudění tekutiny $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$;
 L je charakteristický rozměr $[\text{m}]$;
 ν je kinematická viskozita proudícího média $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$.

Charakteristickým rozměrem je v případě vynucené konvekce v trubkách vnitřní průměr trubky. Kinematická viskozita pro proudící vodu vychází z tabulky tepelných vlastností [51]. Pro vodu o určovací teplotě 40°C je $\nu_1 = 0,658 \cdot 10^{-6} [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$.

$$Re_1 = \frac{v_1 \cdot L}{\nu_1} = \frac{0,935 \cdot 0,018}{0,658 \cdot 10^{-6}} = 25\,577,508 [-]$$

Jelikož Reynoldsovo číslo $25\,577,508 > 2\,320$, proudění uvnitř trubek je turbulentní. Pro další postup, kterým bude následně zjištěn součinitel přestupu tepla z vnitřní strany trubky, platí tedy vztah:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_R \cdot \varepsilon_L [-] \quad (10.3)$$

Kde Nu je Nusseltovo číslo $[-]$;
 Pr je Prandtlovo číslo $[-]$;
 ε_t je opravný součinitel neizotermického proudění $[-]$;
 ε_R je opravný součinitel pro oblouky $[-]$;
 ε_L je opravný součinitel pro krátké trubky $[-]$.

Všechny opravné součinitele je možno v tomto případě zanedbat. Potřebné je pouze vyjádření Prandtlova čísla. Prandtlovo kritérium je dáno vztahem:

$$Pr = \frac{\nu}{a} [-] \quad (10.4)$$

Kde Pr je Prandtlovo číslo $[-]$;
 ν je kinematická viskozita proudící tekutiny $[m^2 \cdot s^{-1}]$;
 a je měrná tepelná vodivost proudícího média $[m^2 \cdot s^{-1}]$.

Z tabulek tepelných vlastností [51] je potřeba zvolit hodnoty pro vodu o určovací teplotě. Ta je v tomto případě $40^\circ C$, a proto je kinematická viskozita proudící vody $\nu_1 = 0,658 \cdot 10^{-6} [m^2 \cdot s^{-1}]$ a měrná tepelná vodivost $a_1 = 0,151 \cdot 10^{-6} [m^2 \cdot s^{-1}]$. Po dosazení těchto hodnot je Prandtlovo číslo:

$$Pr_1 = \frac{\nu_1}{a_1} = \frac{0,658 \cdot 10^{-6}}{0,151 \cdot 10^{-6}} = 4,358 [-]$$

Nyní jsou vyjádřeny všechny potřebné hodnoty. Pro získání Nusseltova čísla následuje dosazení vypočtených hodnot do vztahu 10.3:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_R \cdot \varepsilon_L = 0,021 \cdot 25\,577,508^{0,8} \cdot 4,358^{0,43} = 132,862 [-]$$

Cílem výpočtu vynucené konvekce při proudění v trubkách je získání potřebného součinitele přestupu tepla $\alpha [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$. Výpočet vychází z Nusseltova kritéria:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} [-] \quad (10.5)$$

Charakteristický rozměr je zde opět vnitřní průměr trubky. Tepelná vodivost vody o určovací teplotě $40^\circ C$ je $\lambda_1 = 0,633 [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$. [51]

$$Nu_1 = \frac{\alpha_1 \cdot L}{\lambda_1} \Rightarrow \alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{L} = \frac{132,862 \cdot 0,633}{0,018} = 4\,672,314 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Součinitel přestupu tepla z vnitřní strany trubek je $\alpha_1 = 4\,672,314 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$. [51]
 Pro zjištění tepelného toku je nutné zjistit také součinitel přestupu tepla z vnější strany trubek pomocí vztahů vynucené konvekce při proudění kolmo na svazek trubek.

9.2 Vynucená konvekce při proudění kolmo na svazek trubek

S ohledem na velmi malé množství aktivní části kultivované řasy ve vodě je možno pro následující výpočty uvažovat jako proudící tekutinu také vodu. V případě, kdy proudí voda kolmo na svazek trubek a je splněna podmínka $Re = 10^3 \div 10^5$, platí tento vztah:

$$Nu = c \cdot Re^n \cdot Pr^{0,33} \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_i [-] \quad (10.6)$$

Kde c, n je konstanta a exponent, jenž závisí na uspořádání trubek [-];
 ε_s je součinitel, zohledňující vliv roztečí trubek [-];
 ε_i je součinitel, zohledňující změnu α u prvních řad svazku trubek [-].

Pro další postup je potřeba ověřit, zda je podmínka pro Reynoldsovo číslo splněna. Z tabulek tepelných vlastností vychází opět hodnoty pro vodu o určovací teplotě, která je v tomto případě 25°C (střední teplota mezi 20°C a 30°C). Tyto hodnoty jsou $a_2 = 0,146 \cdot 10^{-6} [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$, $\nu_2 = 0,884 \cdot 10^{-6} [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ a $\lambda_2 = 0,606 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. [51] Charakteristickým rozměrem je v tomto případě vnější průměr trubky $d_2 = 0,02 [\text{m}]$ a rychlost média $v_2 = 0,5 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$.

$$Re_2 = \frac{v_2 \cdot L}{\nu_2} = \frac{0,5 \cdot 0,02}{0,884 \cdot 10^{-6}} = 11\,312,217 [-]$$

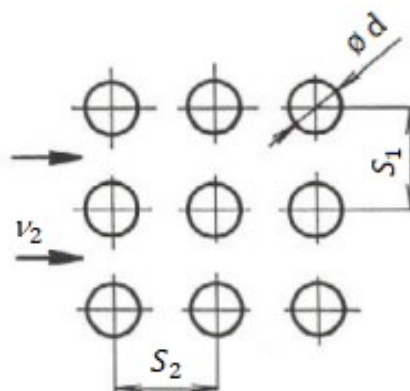
$$Pr_2 = \frac{\nu_2}{a_2} = \frac{0,884 \cdot 10^{-6}}{0,146 \cdot 10^{-6}} = 6,055 [-]$$

Podmínka je splněna, jelikož $Re_2 = 11\,312,217$, a ve výpočtu je možno dále pokračovat. Vzhledem k poloze měděných trubek, které jsou uspořádány za sebou v šesti řadách po třech, je dle tabulky (viz příloha F) $c = 0,26 [-]$, $n = 0,65 [-]$, pro první řadu $\varepsilon_{i1} = 0,6 [-]$, pro druhou řadu $\varepsilon_{i2} = 0,9 [-]$ a součinitel zohledňující vliv roztečí na přestup tepla vypočten ze vztahu:

$$\varepsilon_s = \left(\frac{S_2}{D}\right)^{-0,15} [-] \quad (10.7)$$

Kde S_2 je rozteč trubek ve směru proudění [m];
 D je vnější průměr trubek [m].

Vnější průměr trubek vychází z rozměru $\emptyset 20 \times 1$ a rozteče jednotlivých trubek z konstrukčního návrhu výměňkové nádrže (viz příloha F). Zde je rozteč $S_1 = 0,075 [\text{m}]$ a rozteč $S_2 = 0,2 [\text{m}]$. Pro podrobnější vysvětlení jednotlivých rozměrů slouží obrázek 9.2.



Obrázek 9.2 – Uspořádání trubek za sebou [50]

Součinitel zohledňující vliv roztečí na přestup tepla je závislý pouze na dvou hodnotách, které jsou již určeny. Nyní zbývá pouze dosadit do vztahu 10.7:

$$\varepsilon_s = \left(\frac{S_2}{D}\right)^{-0,15} = \left(\frac{0,2}{0,02}\right)^{-0,15} = 0,708 [-]$$

Součinitel zohledňující změnu α u prvních dvou řad svazku trubek ε_i je potřebný až při výpočtu středního součinitele přestupu tepla, a proto následuje výpočet Nusseltova čísla. Určíme jej ze vztahu 10.6:

$$Nu_2 = c \cdot Re_2^n \cdot Pr_2^{0,33} \cdot \varepsilon_s = 0,26 \cdot 11\,312,217^{0,65} \cdot 6,055^{0,33} \cdot 0,708 = 143,850 [-]$$

Stejně jako u vynucené konvekce při proudění v trubkách vyplývá výpočet součinitele přestupu tepla α z Nusseltova kritéria. Hodnota měrné tepelné vodivosti vody o teplotě 25 °C je opět z tabulek $\lambda_2 = 0,606 [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ a charakteristickým rozměrem je vnější průměr trubek. [51]

$$Nu_2 = \frac{\alpha_2 \cdot L}{\lambda_2} \Rightarrow \alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{L} = \frac{143,850 \cdot 0,606}{0,02} = 4\,358,655 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Na základě již zmíněného součinitele zohledňujícího změnu α u prvních dvou řad svazku trubek ε_i , kde pro první řadu $\varepsilon_{i1} = 0,6 [-]$ a pro druhou řadu $\varepsilon_{i2} = 0,9 [-]$, je potřeba tento fakt zohlednit. V tomto případě platí vztah:

$$\alpha_{stř} = \frac{\varepsilon_{i1} \cdot \alpha_2 + \varepsilon_{i2} \cdot \alpha_2 + (\check{r} - 2) \cdot \alpha_2}{\check{r}} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (10.8)$$

Kde $\alpha_{stř}$ je střední součinitel přestupu tepla konvekcí pro celý svazek $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$;
 \check{r} je počet řad ve svazku trubek (6) $[-]$.

Dosažením do vztahu 10.7 dostaneme střední součinitel přestupu tepla $\alpha_{stř} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$. S tímto výsledkem lze počítat při následném výpočtu tepelného toku výměníku.

$$\alpha_{stř} = \frac{\varepsilon_{i1} \cdot \alpha_2 + \varepsilon_{i2} \cdot \alpha_2 + (\check{r} - 2) \cdot \alpha_2}{\check{r}} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

$$\alpha_{stř} = \frac{0,6 \cdot 4\,358,655 + 0,9 \cdot 4\,358,655 + (6 - 2) \cdot 4\,358,655}{6} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

$$\alpha_{stř} = 3\,995,434 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

9.3 Tepelný tok při přenosu tepla ze svazku trubek

Pro zjištění skutečného množství předané tepelné energie z ohřívacího na ohřívání médium je potřeba nejprve zjistit hustotu tepelné toku. Pro prostup tepla válcovou stěnou platí tento vztah:

$$q = k \cdot (t_1 - t_2) = \frac{\pi \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d} + \sum_{i=1}^x \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot D}} [W \cdot m^{-2}] \quad (10.9)$$

Kde k je součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$];
 t je určovací teplota proudícího média [K];
 d je vnitřní průměr válcové stěny/trubky [m];
 x je počet vrstev válcové stěny [$-$];
 i je pořadí vrstvy válcové stěny [$-$].

Pro výpočet je potřeba dosadit správné hodnoty do vztahu 10.9. Rozdíl teplot je v tomto případě rozdíl mezi ohřívacím médiem ($40^\circ C$) a ohříváním médiem ($25^\circ C$), $\alpha_1 = 4\,672,314 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$, d_1, d_{x+1} je vnitřní a vnější průměr trubky, za α_2 je potřeba dosadit $\alpha_{stř} = 3\,995,434 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ a součinitel tepelné vodivosti měděných trubek je $\lambda_{Cu} = 385 [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$. Trubky jsou složeny pouze z jedné stěny, a proto je výpočet následující:

$$q = \frac{\pi \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{Cu}} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_{stř} \cdot d_2}} [W \cdot m^{-2}]$$

$$q = \frac{\pi \cdot (40 - 25)}{\frac{1}{4\,672,314 \cdot 0,018} + \frac{1}{2 \cdot 385} \cdot \ln \frac{0,02}{0,018} + \frac{1}{3\,995,434 \cdot 0,02}} [W \cdot m^{-2}]$$

$$q = 1\,920,172 [W \cdot m^{-2}]$$

Zpětným dosazením hustoty tepelného toku q do vztahu 10.9 lze získat celkový součinitel prostupu tepla. Ten je vyjádřen z první části vztahu:

$$q = k \cdot (t_1 - t_2) \Rightarrow k = \frac{q}{t_1 - t_2} = \frac{1\,920,172}{40 - 25} = 128,011 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Zbývá již pouze poslední nezbytný krok. Abychom mohli zjistit výsledný tepelný tok ve výměňkové nádrži, je potřeba vycházet z následujícího vztahu:

$$Q = q \cdot S [W] \quad (10.10)$$

Teplosměnná plocha je v tomto případě vnější povrch všech osmnácti trubek $\varnothing 20 \times 1 - 1400 \text{ mm}$ uvnitř nádrže. Povrch plochy potrubí je vypočten ze vztahu:

$$S = 2\pi \cdot R \cdot L_T [m^2] \quad (10.11)$$

Kde R je vnější poloměr trubek $[m]$;
 L_T je délka trubek $[m]$.

$$S = 2\pi \cdot 0,01 \cdot (18 \cdot 1,4) = 1,583 [m^2]$$

Pro výpočet tepelného toku máme již obě potřebné hodnoty. Nyní je možno provést dosazení do vztahu 10.10:

$$Q = q \cdot S = 1\,920,172 \cdot 1,583 = 3\,039,632 [W] = 3,040 [kW]$$

Kontrola povrchové teploty měděných trubek

S ohledem na potřebnou kultivační teplotu média je nutné provést také kontrolu, zda není teplota na povrchu trubek příliš velká. V ideálním případě by měla být tato teplota v rozmezí $25 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$. Výpočet lze provést směrem z vnitřní i vnější strany trubek. Pro ověření správnosti výsledku navrhuji provést oba způsoby. Platí zde tedy vztahy:

$$t_{VS} = t_1 - \frac{q}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{Cu}} \cdot \ln \frac{D}{d} \right) [^\circ\text{C}] \quad (10.12)$$

$$t_{VS} = t_2 + \frac{q}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_2 \cdot D} [^\circ\text{C}] \quad (10.13)$$

Kde t_{VS} je teplota vnější stěny trubky $[^\circ\text{C}]$.

$$t_{VS} = t_1 - \frac{q}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{Cu}} \cdot \ln \frac{D}{d} \right) [^\circ\text{C}]$$

$$t_{VS} = 40 - \frac{1\,920,172}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{4\,672,314 \cdot 0,018} + \frac{1}{2 \cdot 385} \cdot \ln \frac{0,02}{0,018} \right) [^\circ\text{C}]$$

$$t_{VS} = 32,649 [^\circ\text{C}]$$

Prvním vztahem byla zjištěna povrchová teplota $t_{VS} = 32,649 [^\circ\text{C}]$, což je pro kultivaci vhodná teplota. Druhý výpočet by měl přinést potvrzením této teploty.

$$t_{VS} = t_2 + \frac{q}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_{stř} \cdot D} [^{\circ}C]$$
$$t_{VS} = 25 + \frac{1\,920,172}{\pi} \cdot \frac{1}{3\,995,434 \cdot 0,02} [^{\circ}C]$$
$$t_{VS} = 32,649 [^{\circ}C]$$

Kontrola výsledné povrchové teploty měděných trubek je dokončena. Na základě vypočtených hodnot, kdy $t_{VS} = 32,649 [^{\circ}C] < 35 [^{\circ}C]$, je možno uvést navržený tepelný výměník s ohledem na podmínky kultivačního procesu jako vyhovující.

10 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout topný systém, který by využíval přebytků tepelné energie z bioplynové stanice. Vzhledem ke stále rozvíjející se oblasti alternativních a obnovitelných zdrojů energie byla pro tyto účely zvolena produkce řas, které jsou využívány jako biomasa třetí generace. Prvním krokem této práce bylo tedy představení kultivačního procesu a jednotlivých typů kultivačních zařízení.

Výrobě tepelné energie v bioplynové stanici předchází poměrně složitý postup, na jehož začátku je biomasa a anaerobní fermentační proces. Důležitou částí bakalářské práce bylo proto také představení jednotlivých celků BPS, podrobnější popis produkce bioplynu a jeho následné využití pro výrobu elektrické a tepelné energie pro navrhovaný topný systém.

V souvislosti s řešenou problematikou byla navázána spolupráce se Zemědělským družstvem Haňovice. Této firmě byla proto věnována samostatná kapitola s popisem činnosti ZDHa a technologických celků zdejší bioplynové stanice včetně pořízených fotografií. Uvedena byla také data spojená s celkovou produkcí tepelné energie za uplynulý rok 2020, které jsem od ZDHa obdržel a mohl využít k následným výpočtům.

Při výpočtech jsem vycházel z parametrů kogeneračních jednotek a spotřeby tepelné energie v jednotlivých měsících v roce 2020. Prvním úkolem bylo zjistit, jak velký přebytek tepelné energie má zdejší bioplynová stanice k dispozici pro případnou kultivaci řas ve fotobioreaktorech. Výpočty potvrdily, že velké přebytky vznikají především v druhé polovině roku vlivem vyšších venkovních teplot. Nejmenší měsíční přebytek tepla byl v dubnu 184 GJ.

V následující části jsem vypracoval návrh topného systému pro mnou navržený fotobioreaktor. Při návrhu jsem musel brát ohled na požadovanou teplotu kultivačního média 25 – 35 °C a maximální množství tepelné energie, které bych pro svůj topný systém mohl využít. Vzhledem k tomu, že z kogenerační jednotky vychází teplotnosné médium o vysoké teplotě, rozdělil jsem topný systém do dvou okruhů, aby nedošlo k případné degradaci aktivní části kultivované řasy. Následným výpočtem, který nezohledňuje ztráty, jsem zjistil, že zvolený tepelný výměník spotřebuje měsíčně méně než třetinu z minimálního měsíčního přebytku.

Kultivační médium má svůj vlastní okruh a posledním cílem tedy bylo přenést na něj tepelnou energii z pracovního média II. okruhu. Pro tyto potřeby jsem navrhl výměníkovou nádrž se svazkem měděných trubek, které zde přivádí právě ohřívací médium. Ze vztahů pro tepelnou konvekci jsem vyjádřil součinitele přestupu tepla a vypočetl celkový tepelný tok. Nakonec jsem provedl kontrolu povrchové teploty trubek.

Tato bakalářská práce může sloužit pro inspiraci všem bioplynovým stanicím, které nevyužívají tepelnou energii v celém rozsahu a chtějí se aktivně podílet na výzkumu či následné produkci řas v kultivačních systémech. Dle konkrétních potřeb případného provozovatele by mělo být součástí realizace také ekonomické zhodnocení a výpočet ztrát topného systému, což by mohlo být předmětem řešení pro další bakalářskou či diplomovou práci.

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Frantíkovi, Ph.D. za pomoc a rady při vedení této práce. Dále bych chtěl poděkovat katedře energetiky na VŠB-TUO, především paní Ing. Veronice Sassmanové, Ph.D., za cenné rady a zprostředkování spolupráce s BPS Haňovice. Poděkování patří také vedoucímu BPS Haňovice Ing. Davidu Čulíkovi za poskytnutí interních podkladů, potřebných informací, a především možnost propojení bakalářské práce s praxí. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu a trpělivost.

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RICHMOND, Amos. (Ed.). *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. 1. vydání. Oxford: Blackwell Publishing, 2004. ISBN 0-632-05953-2.
- [2] PASTOREK, Zdeněk a kol. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004. ISBN 80-86534-06-5.
- [3] BENDA, Vítězslav a kol. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [4] CENEK, Miroslav. *Obnovitelné zdroje energie*. 2. upr. a dopl. vydání. Praha: FCC Public, 2001. ISBN 80-901985-8-9.
- [5] BRANDEJSOVÁ, Eliška a Zdeněk PŘIBYLA. *Bioplynové stanice: (zásady zřizování a provozu plynového hospodářství)*. 2., aktualiz. vydání. Praha: GAS, 2010. ISBN 978-80-7328-228-8.
- [6] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-118-7.
- [7] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [8] HOLOUBEK, Dušan. *Spaľovacie zariadenia, výmenníky tepla a kotly*. Košice: Technická univerzita Košice, 2002. ISBN: 80-7099-832-6.
- [9] BLAHOŽ, Vladimír a Zdeněk KADLEC. *Základy sdílení tepla*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1996. SPBI Spektrum. Červená řada, 2. ISBN 80-902001-1-7.
- [10] KADLEC, Zdeněk. *Termomechanika: návody do cvičení*. 2. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1736-1.
- [11] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. 3. přeprac. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2409-5.
- [12] JELEMENSKÝ, Karol a kol. *Tepelné pochody*. 2. opr. vydání. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2004. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-2109-3.
- [13] MASOJÍDEK, Jiří a kol. *Mikrořasy – solární továrna v jedné buňce* [online]. Praha: Academia, 2016. Věda kolem nás. [cit. 2021-04-23]. ISSN 2464-6245. Dostupné z: https://www.alga.cz/UserFiles/mstefanova/files/Mikro%59asy_sol%c3%a1rn%c3%ad%20tov%c3%a1rna%20v%20jedn%c3%a9%20bu%c5%8ce.pdf.
- [14] BĚLOHLAV, Vojtěch a kol. Možnosti realizace fotobioreaktorů v průmyslovém měřítku. *Chemické listy* [online]. 2018, **112**(3), 183-190. [cit. 2021-04-23]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/3030/3019>.
- [15] ENZING, Christien a kol. *Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe* [online]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014 [cit. 2021-04-23]. ISBN 978-92-79-34037-6. Dostupné z: <https://1url.cz/9KzQm>.

- [16] ANDERSEN, A. Robert. (Ed.). *Algal Culturing Techniques*. Burlington: Elsevier Academic Press, ©2005 [cit. 2021-04-23]. ISBN 0-12-088426-7. Dostupné z: <https://1url.cz/WKzQA>.
- [17] KITNER, Miloslav. *Biotechnologie sinic a řas* [online]. Olomouc: Katedra botaniky PřF UP, 24.4.2016 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: http://isb-up.cz/wp-content/uploads/2016-04-24_HB_IT_SR_3.pdf.
- [18] Gascontrol. *Bioplynová stanice* [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://1url.cz/izf7i>.
- [19] ÚKZÚZ. *Digestáty a jejich využití v zemědělství* [online]. Praha, 2016 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/458518/Digestaty_final2_WEB_optim.pdf.
- [20] Agronomická fakulta. *Anaerobní fermentace* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2.2.2000 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/211/17222.pdf.
- [21] KÁRA, Jaroslav a kol. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství* [online]. Praha: VÚZT, 2007 [cit. 2021-04-23]. ISBN 978-80-86884-28-8. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2007/086.PDF>
- [22] MASTNÝ, Petr a kol. *Obnovitelné zdroje elektrické energie* [online]. Praha: ČVUT v Praze, © 2011. [cit. 2021-04-23]. ISBN 978-80-01-04937-2. Dostupné z: <https://1url.cz/HKziL>.
- [23] MOLEK, Tomáš. *Bioplyn a bioplynové stanice v ČR*. Oenergetice.cz [online]. 31.8.2015 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/bioplyn-a-bioplynove-stanice-v-cr>.
- [24] BŘEZINOVÁ, Jana. *Biometan: Jak se vyrábí a proč je to palivo budoucnosti?* Plyn.cz [online]. 30.4.2020 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/biometan-jak-se-vyrabi>.
- [25] BUDÍN, Jan. *Kogenerace – princip, technologie a výhody*. Oenergetice.cz [online]. 21.4.2015 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://1url.cz/UKzwH>.
- [26] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky – Zřizování a provoz* [online]. Praha: Gas, 2007 [cit. 2021-04-23]. ISBN 978-80-7328-151-9. Dostupné z: <https://1url.cz/dKzwE>.
- [27] CZ Biom: *Volba vhodné kogenerační jednotky na bioplyn*. Biom.cz [online]. 2015 [cit. 2021-04-23]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://1url.cz/4Kzwh>.
- [28] Geocaching. *Bioplynka* [online]. 2011 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://1url.cz/6KJlG>.
- [29] CZ Biom. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu* [online]. Praha: CZ Biom – České sdružení pro biomasu, 2009 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://1url.cz/lKzw0>.
- [30] RAEN spol. s r.o. a CityPlan spol. s r.o. *Příručka pro regionální využití kogeneračních zdrojů* [online]. Praha: Česká energetická agentura, 1999 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8070.pdf.
- [31] BERANOVSKÝ, Jiří a kol. *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla*. EkoWATT [online]. ©2007 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://1url.cz/qKzwb>.
- [32] LENHARD, Richard a kol. *Výmenníky tepla* [online]. EQUILIBRIA, s.r.o., 2020 [cit. 2021-04-23]. ISBN 978-80-8143-261-3. Dostupné z: http://ket.uniza.sk/images/fotogaleria/projekty/dokumenty/01_Vymenniky_tepla_29.1.2020.pdf.

- [33] MACHÁČKOVÁ, Adéla a Radim KOCICH. *Sdílení tepla a proudění* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2021-04-23]. Učební texty vysokých škol. Dostupné z: <https://1url.cz/4KzoL>.
- [34] TRÁVNÍČEK, Petr a Zbyšek KARAFIÁT. *Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů*. Biom.cz [online]. 15.4.2009, 29.6.2009 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>.
- [35] MORAVEC, Adam, Julie DAJČL a Petr KOUKAL. *Rozhovor s oceněným podnikem ZD Haňovice*. Biom.cz [online]. 1.12.2020, 9.2.2021 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/rozhovor-s-oceneny-podnikem-zd-hanovice>.
- [36] Výměníky tepla Ostrava. *Online výpočet výměníku voda-voda* [online]. Ostrava [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.vymeniky-tepla.cz/vypocet/>.
- [37] ČerpadlaBezStarostí.cz. *Jak vybrat oběhové čerpadlo* [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.cerpadlabezstarosti.cz/obsah/39-jak-vybrat-obehove-cerpadlo>.
- [38] Regulus. *Výpočet velikosti expanzní nádoby* [online]. ©2015-2021 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://m.regulus.cz/cz/vypocet-velikosti-expanzni-nadoby>.
- [39] Reflex. *Download dokumentace k výrobkům* [online]. ©2006-2021 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://1url.cz/3KJRb>.
- [40] ŠINCER, Jiří. *Vývoj a inovace systému INVYSYS* [online]. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: http://www.invysys.cz/www/upload/Vzorova_vyukova_metodika.pdf.
- [41] ZD Haňovice [online].[cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <http://www.zdhanovice.cz/>.
- [42] Interní podklady ZDHa.
- [43] Interní podklady firmy Grundfos.
- [44] Interní podklady firmy Herz.
- [45] Interní podklady firmy IVAR CS.
- [46] Interní podklady firmy F.A.R.G.
- [47] Interní podklady firmy Giacomini.
- [48] Interní podklady firmy Tork.
- [49] Interní podklady firmy Taconova.
- [50] KADLEC, Zdeněk. *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. SPBI Spektrum. Červená řada, 61. ISBN 978-80-7385-061-6.
- [51] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. *Tepelné vlastnosti vody při tlaku nasycení*. In: tzb-info.cz [online]. ©2001-2021 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/7-tepelne-vlastnosti-vody-pri-tlaku-nasyceni>.

12 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

12.1 Seznam obrázků

OBRÁZEK 2.1 – LABORATORNÍ KULTIVACE MIKROŘAS [13]	15
OBRÁZEK 2.2 – KORYTOVÉ NÁDRŽE [17]	16
OBRÁZEK 2.3 – KASKÁDOVÝ SYSTÉM [13]	17
OBRÁZEK 2.4 – TRUBKOVÉ FOTOBIOREAKTORY [15]	18
OBRÁZEK 2.5 – PANELOVÉ FOTOBIOREAKTORY [15]	18
OBRÁZEK 2.6 – VÁLCOVÉ FOTOBIOREAKTORY [14].....	19
OBRÁZEK 3.1 – SCHÉMA BIOPLYNOVÉ STANICE [18]	20
OBRÁZEK 4.1 – ZÁVISLOST VÝHŘEVNOSTI BIOPLYNU NA KONCENTRACI METANU [21]	22
OBRÁZEK 4.2 – ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA ANAEROBNÍ FERMENTACE [21]	23
OBRÁZEK 5.1 – POROVNÁNÍ ROZDĚLENÉ A KOGENERAČNÍ VÝROBY ELEKTŘINY A TEPLA [26].....	25
OBRÁZEK 5.2 – SCHÉMA KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SE SPALOVACÍM MOTOREM [28]	28
OBRÁZEK 6.1 – ROZDĚLENÍ TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ PODLE PRACOVNÍHO POCHODU [7]	33
OBRÁZEK 6.2 – TYPY PROUDĚNÍ V TEPELNÝCH VÝMĚNÍCÍCH [8]	33
OBRÁZEK 7.1 – ZEMĚDĚLSKÉ DRUŽSTVO HAŇOVICE [41]	36
OBRÁZEK 7.2 – SKLENÍKY HOLANDSKÉHO TYPU ZDHA [41]	37
OBRÁZEK 7.3 – ZÁKLADNÍ ČÁSTI BPS HAŇOVICE [41]	38
OBRÁZEK 7.4 – ZÁSOBOVACÍ NÁDRŽ SE ŠNEKOVÝM DOPRAVNÍKEM BPS HAŇOVICE (FOTO VIZ AUTOR) ..	39
OBRÁZEK 7.5 – FERMENTOR A ZÁSOBOVACÍ NÁDRŽ BPS HAŇOVICE [41].....	39
OBRÁZEK 7.6 – BETONOVÁ NÁDRŽ NA DIGESTÁT BPS HAŇOVICE (FOTO VIZ AUTOR)	40
OBRÁZEK 7.7 – SEPARÁTOR BPS HAŇOVICE (FOTO VIZ AUTOR)	40
OBRÁZEK 7.8 – VELKÁ A MALÁ NÁDRŽ NA FUGÁT BPS HAŇOVICE (FOTO VIZ AUTOR)	41
OBRÁZEK 7.9 – ODSIŘOVACÍ ZAŘÍZENÍ BPS HAŇOVICE (FOTO VIZ AUTOR)	41
OBRÁZEK 7.10 – KOGENERAČNÍ JEDNOTKA SCHNELL ES 2507 V BPS HAŇOVICE (FOTO VIZ AUTOR)	42
OBRÁZEK 8.1 – PODSTAVEC S VÁLCOVÝMI FOTOBIOREAKTORY	46
OBRÁZEK 8.2 – SCHÉMA TOPNÉHO SYSTÉMU FOTOBIOREAKTORU	47
OBRÁZEK 8.3 – ONLINE VÝPOČET DESKOVÉHO VÝMĚNÍKU [36]	48
OBRÁZEK 8.4 – DESKOVÝ VÝMĚNÍK SWEP E5TX20 [36]	48
OBRÁZEK 8.5 – OBĚHOVÉ ČERPADLO GRUNDFOS ALPHA1 L 25-60 180 [43].....	50
OBRÁZEK 8.6 – PRINCIP EXPANZNÍ NÁDOBY [39].....	51
OBRÁZEK 8.7 – KULOVÝ VENTIL [40]	52
OBRÁZEK 8.8 – TROJCESTNÝ VENTIL HERZ [44].....	52

OBRÁZEK 8.9 – POJISTNÝ VENTIL CALEFFI [45].....	52
OBRÁZEK 8.10 – DOPOUŠTĚCÍ VENTIL F.A.R.G. [46].....	53
OBRÁZEK 8.11 – VYPOUŠTĚCÍ VENTIL IVAR [45].....	53
OBRÁZEK 8.12 – ZPĚTNÝ VENTIL IVAR [45]	53
OBRÁZEK 8.13 – FILTR GIACOMINI [47].....	54
OBRÁZEK 8.14 – ODVZDUŠŇOVACÍ VENTIL IVAR [45].....	54
OBRÁZEK 8.15 – ELEKTROMAG. VENTIL TORK [48]	54
OBRÁZEK 8.16 – TEPLOMĚR IVAR [45]	55
OBRÁZEK 8.17 – MANOMETR IVAR [45].....	55
OBRÁZEK 8.18 – PRŮTOKOMĚR TACONOVA [49]	55
OBRÁZEK 9.1 – VÝMĚNÍKOVÁ NÁDRŽ	56
OBRÁZEK 9.2 –USPOŘÁDÁNÍ TRUBEK ZA SEBOU [50]	59

12.2 Seznam tabulek

TABULKA 1 – OBLASTI UPLATNĚNÍ KOGENERACE SPOLEČNĚ S VYUŽÍVANOU TECHNOLOGIÍ [26]	29
TABULKA 2 – PRŮMĚRNÉ MNOŽSTVÍ DENNÍHO VSTUPU DO BPS ZA ROK 2020 [42]	38
TABULKA 3 – TECHNICKÝ LIST BIOPLYNOVÉHO MOTORU OC 13 [42].....	42
TABULKA 4 – SPOTŘEBA TEPELNÉ ENERGIE Z BPS HAŇOVICE V ROCE 2020 [44]	43
TABULKA 5 – NEVYUŽITÝ PŘEBYTEK TEPELNÉ ENERGIE V BPS HAŇOVICE V ROCE 2020	45
TABULKA 6 – VYUŽITÍ PŘEBYTKU TEPELNÉ ENERGIE NÁVRHEM TOPNÉHO SYSTÉMU (TS).....	49

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Výrobní výkres fotobioreaktoru

Příloha B – Výrobní výkres víka na fotobioreaktor

Příloha C – Výrobní výkres podstavce pod fotobioreaktor

Příloha D – Výrobní výkres výměňkové nádrže

Příloha E – Výrobní výkres měděné trubky do výměníku

Příloha F – Vztahy pro výpočet tepelného výměníku